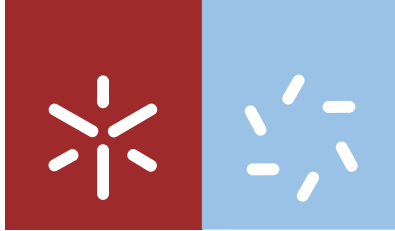


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Pedro Manuel Mendes Araújo

Mineralizações associadas a *shear zone networking* na vertente oriental da Serra de Arga (Minho, Portugal)



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Pedro Manuel Mendes Araújo

**Mineralizações associadas a *shear zone*
networking na vertente oriental da
Serra de Arga (Minho, Portugal)**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Carlos Augusto Alves Leal Gomes

Declaração:

Nome: Pedro Manuel Mendes Araújo

Endereço eletrónico: pedro_araujo_01@hotmail.com

Número do bilhete de identidade: 13932738

Título: Mineralizações associadas a *shear zone networking* na vertente Oriental da Serra de Arga (Minho, Portugal)

Orientador: Professor Doutor Carlos Augusto Alves Leal Gomes

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado: Mestrado em Ordenamento e Valorização de Recursos Geológicos

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 30 de Abril de 2015

Assinatura: _____

Agradecimentos

Deixo nesta secção uma nota de apreço a todos os que de algum modo contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao professor Leal Gomes, agradeço o modo como sempre apoiou e acompanhou o desenvolvimento dos trabalhos.

Ao pessoal não docente do departamento de Ciências da Terra agradeço a disponibilidade com que sempre abordaram todas as nossas necessidades, em especial ao Sr. Saúl pelo tempo que perdeu a ensinar-nos os procedimentos laboratoriais.

Ao Sr. Leal, obrigado pelo contributo significativo que forneceu na melhoria das nossas aptidões laboratoriais.

À Dra. Elsa obrigado pelo modo como nos acolheu no microscópio eletrónico.

Ao Dinis, Francisco e Juliana agradeço a disponibilidade para discutir os resultados à medida que estes se iam obtendo. Assim como o facto de tornarem todos os trabalhos e principalmente as idas a campo tão “originais”.

Ao Henrique e João Pedro obrigado pelas correções.

Aos meus pais, Obrigado por tudo, devo-vos o que sou e o futuro com que hoje sonho.

Ao meu irmão, és o meu orgulho!

Resumo

Na vertente oriental da Serra de Arga, no Minho, ocorrem diversas zonas de cisalhamento, por vezes polifásico, que focaram fluidos hidrotermais responsáveis por mineralizações auríferas. Algumas das zonas de cisalhamento confluem numa estrutura mestra, configurando um duplex em flor positiva.

A análise geométrica e cinemática de unidades litológicas afetadas por *shear zone networking* permitiu evidenciar a variação das trajetórias e magnitudes do campo de tensões no decorrer da 3ª fase de deformação Varisca, promovendo heterogeneidades na orientação das estruturas. O conjunto de intersecções das estruturas de cisalhamento ou pontos nodais da rede constituem, também, sítios de focagem preferencial ou diluição de mineralizações que preenchem as estruturas que aí convergem. As litologias de falha que se observam nas zonas de cisalhamento são essencialmente brechas de falha e de esmagamento, cataclasitos e, por vezes, milonitos.

As mineralizações ocorrem em ganga quartzosa e compreendem tungstatos e sulfuretos de As, Fe, Zn, Cu, Pb e Bi, sulfossais e metais nativos (Bi, Au, Ag). No caso da estrutura em flor (*duplex* oriental), a mineralização é heterogénea, apresentando menor diversidade em níveis topográficos inferiores. Tornam-se parageneticamente mais complexas a cotas superiores da zona de cisalhamento mestra, onde a divergência de estruturas hospedeiras terá condicionado a mobilidade de fluidos decorrentes de ciclos convectivos sobrepostos.

A arsenopirite, utilizada como marcador da deformação verificar fenómenos de deformação progressiva de regime dúctil a frágil. A mineralização aurífera pode ser parcialmente encarada como resultado da evolução deformacional e térmica da arsenopirite nas estruturas de cisalhamento. A análise geométrica, sistemática e detalhada de partículas auríferas permite, também, distinguir estádios cinemáticos sucessivos relacionando-os com a recetividade reológica e deformacional do hospedeiro arsenopirítico em diferentes fases da sua evolução.

Abstract

On the eastern slope of the Serra de Arga, Minho, polyphase shear zones occurs of a marginal duplex flower structure where gold hydrothermal mineralizations were focused. Some of the shear zones converge on a master structure configuring a duplex in positive flower.

The geometric and kinematic analysis of lithological units affected by shear zone networking has emphasized the variation of the trajectories and magnitude of the stress field during the 3rd Variscan deformation phase, promoting heterogeneities in the structure orientation. The intersections of shear structures or nodes of the network may act as focusing or dilution sites of mineralization. The fault rocks observed in shear zones are essentially crushing breccias, cataclasite and mylonites.

The mineralization occurs in quartz and is essentially composed by tungstates and sulphides of As, Fe, Zn, Cu, Pb, Bi, sulfosalts of Pb, Bi, Ag, native Bi, electrum and native gold. The paragenetic diversity manifests heterogeneity along shear structures presenting less diversity at lower levels of the flower structure.

Arsenopyrite was used as a marker of deformation and has shown progressive deformation from ductile to fragile deformation. Gold mineralization has been described as a result of the evolution of arsenopyrite in shear structures. The analysis of the shape, size and geometry of gold particles structure allowed the establishment of a typology of auriferous successive stages related to the rheological behavior and deformation of arsenopyrites.

Índice

Capítulo I - Introdução.....	1
I. Introdução.....	3
I. 1. Interesse e objetivos	3
I. 2. Considerações sobre zonas de cisalhamento – aproximação teórica.....	4
I. 3. Enquadramento da área de estudo	10
1. 3. 1. Enquadramento geográfico.....	10
I. 3. 2. Contexto tectónico.....	10
I. 3. 3. Sucessão de fases de deformação do ciclo Varisco	12
I. 3. 4. Enquadramento geológico	12
I. 3. 5. Fases de deformação da envolvente de Arga.....	15
I. 4. Trabalhos prévios relativos à estruturação e depósitos hidrotermais associados na vertente Este da Serra de Arga.....	17
I. 4. 1. Estrutura dos corpos mineralizados	17
1. 4. 2. Tipologia e relações texturais das mineralizações.....	18
1. 4. 3. O caso paradigmático do lineamento Argas-Cerquido.....	19
I. 5. Opções metodológicas.....	20
1. 6. Planificação do trabalho	22
Capítulo II - Análise geométrica e cinemática na vertente oriental da Serra de Arga	25
II. 1. Análise geométrica da região envolvente da Serra de Arga.....	27
I. 1. 1. Interferência da implantação dos granitos na deformação	29
II. 2. Elementos estruturais D2 a Sin-D3.....	31
II. 2. 1. Elementos estruturais no Sector B.....	31

II. 2. 2. Elementos estruturais do Sector C	34
II. 3. Elementos estruturais de alinhamentos tardi-D3 (D3')	39
Capítulo III - Mineralizações hidrotermais associadas a estruturas de cisalhamento.....	41
III. 1. Petrologia de minérios	43
III. 1. 1. Zona de cisalhamento Argas – Cerquido	43
III. 1. 2. Zona de cisalhamento E–W	51
III. 2. Arsenopirite	54
III. 2. 1. Tipos morfológicos de arsenopirites	54
III. 2. 2. <i>Petrofabric</i> da arsenopirite.....	56
III. 2. 3. Composições químicas das arsenopirites	61
III. 2. 4. Zonamentos composicionais da arsenopirite	65
III. 2. 5. Arsenopirite como geotermómetro	66
III. 3. Mineralizações auríferas	68
III. 3. 1. Fontes primárias de Au	68
III. 3. 2. Variação de teores de Au na ZCAC.....	69
III. 3. 3. Sequência de reposicionamento paragenético das mineralizações auríferas	70
III. 3. 4. Fenómenos de diluição aurífera	79
Capítulo IV - Considerações finais e conclusões	83
IV. 1. Conclusões.....	88
IV. 2. Propostas de trabalho futuro.....	Erro! Marcador não definido.
Capítulo V - Ilacões	91
Bibliografia	97
Anexos	101

Índice de Figuras

Figura 1: Perfil generalista da variação de rochas de falha com a profundidade em resposta à deformação. Adaptado de Passchier e Trouw	6
Figura 2: Enquadramento geográfico da área de estudo	10
Figura 3: Enquadramento da área de estudo na zona Galiza Média-Trás-os-Montes, adaptado de Ribeiro (1991)	11
Figura 4: Área de estudo enquadrada em secção da folha 1 C revista em Leal Gomes (2008). 14	
Figura 5: Compartimentação estrutural do campo à luz da interferência entre a deformação regional e o diapirismo Sectores definidos em Gomes (1994).....	16
Figura 6: Evolução do duplex peri-diapírico condicionada pela instalação do granito de Arga (extraído de Leal Gomes, 1994)	19
Figura 7: Trajetórias de clivagem de fratura acompanhadas de lineamentos de 1ª Ordem delimitadas identificados em fotointerpretação. A: Água Levada; B: Encruzilhada; C: Picoto do Carvalho; D: Monteiro; E: Porto Vieiro; F: Santa Rita; G: Fulão.....	28
Figura 8: Sectores definidos por Leal Gomes (1994) sobrepostos às lineações definidas na figura 7;.....	30
Figura 9: Esquema generalista da área entre o maciço de Santo Ovídeo e o maciço de Arga, correlacionável com o sector B definido por Leal Gomes (1994).....	32
Figura 10: Modelo de instalação do pegmatito do Lourinhal aproveitando estruturas D2.	32
Figura 11: Apófise granítica do maciço da Serra de Arga na região de Alto do Cavalinho; Evidências de fenómenos de delaminação extrapolados através de fotointerpretação.	33
Figura 12: Configuração cartográfica das zonas de cisalhamento principais do duplex oriental da Serra de Arga (corredor de cisalhamento de Argas - Cerquido) e localização de amostras alvo de análise paragenética: CR – Cerdeirinha e Telheira; CD – Cabeço do Meio Dia; CM – Cova dos Mouros e Fichua; CI – Cumieira; CV - Cavalinho; AL – Água Levada.....	34
Figura 13: Diferentes ambientes das estruturas de Argas-Cerquido. 6-A: <i>crack seal</i> / com deposição de blenda em acolhimentos dilatacionais; 6-B: crack-seal com arsenopirite scoroditizada; 6-C: ambiente típico da deposição em Água Levada, destaca-se um nível de galena junto às unidades filíticas; 6-D: ruturas em unidades filíticas preenchidas por quartzo; 6-E: leitões de pirite blenda e galena em ganga quartzosa; 6-F: brecha com fluorite tardia a preencher ruptura dilatacional; 6-G: brecha de esmagamento com deposição de quartzo e sulfuretos.	36

Figura 14: Fases aplito-pegmatíticas com arsenopirite. A: Veio de arsenopirite maciça a preencher rutura em aplito-pegmatito; B: Arsenopirites automórficas em aplito-pegmatito com auréola de alteração.	37
Figura 15: Esquema ilustrativo da zona de cisalhamento de Picoto do Carvalho.....	38
Figura 16: Evidências de deformação progressiva de fluxo cataclástico a milonítico	38
Figura 17: Ambiente de deposição do alinhamento E-W.....	39
Figura 18: Discriminação de arsenopirite em modos de deposição distintos no contacto entre o veio de arsenopirite e as unidades encaixantes.	40
Figura 19: Diferentes estádios de associações mineroquímicas entre Pb, Ag e Bi.....	47
Figura 20: Auréolas no contacto entre electrum e galena.....	47
Figura 21: Exsoluções de calcopirite em blenda	50
Figura 22: Síntese dos tipos morfológicos identificados, modos de discriminação e ocorrências verificadas.	55
Figura 23: Petrofabric de arsenopirites precoces afectadas por cisalhamento - deformação frágil a dúctil-frágil relacionada com a remobilização e acolhimento do ouro (barra de escala = 5 mm; observação em MOLR N//): A – textura “crack-seal” de arsenopirite (AR) + quartzo (QZ); B - textura em dominó de arsenopirite (AR) em quartzo (QZ) ; C – imbricação helicítica sigmóide de arsenopirite (AR) e pirite (PI); D – abertura “en échelon” de filossilicato (FS) para acolhimento micro-venular de calcopirite, entre clastos de arsenopirite (AR); E – faixa intra-arsenopirítica com textura cataclástica a milonítica com clastos de arsenopirite (AR) cimentados por galena (GL) e contorno transpressivo; F – proliferação de microcrossítios transpressivos dilatacionais paralelos com galena (GL) no seio da arsenopirite (AR).....	57
Figura 24: Zonamento químico de arsenopirite; A: sectorial da arsenopirite, fenómenos de “annealing”	58
Figura 25: Arsenopirite a marcar a deformação; A: Leitos fantasma de foliação compostos por apatite e carbonatos, presença de arsenopirite de em charneira de dobra; B: Leitos de foliação de apatite e carbonatos, com arsenopirite com galena em ruturas tardias; C: Leitos de foliação com microlithons, arsenopirite de charneira; D: Arsenopirite de charneira, focada da imagem C, com minerais herdados do encaixante nomeadamente monazite e filossilicatos, cristal de apatite automórfico.	59
Figura 26: Testemunhos texturais dos estados de incremento da deformação progressiva das arsenopirites de regime dúctil a frágil; A: arsenopirite zonada com deformação transicional de dúctil a frágil. B: arsenopirite deformada em regime dúctil com zonamento sectorial; C: deformação de regime dúctil com zonamento sectorial e em regime frágil com fracturação e depósito de galena em ruturas. 60	

Figura 27: Projeção em diagrama Fe-As-S das análises químicas realizadas em arsenopirites. .	64
Figura 28: Variação de elementos menores entre o cisalhamento Argas-Cerquido e o cisalhamento E-W.	65
Figura 29: Análises realizadas em fases contrastantes de cristais de arsenopirite	65
Figura 30: Projeções das análises realizadas no diagrama pseudobinário de Kretschmar e Scott (1976), com distinção das arsenopirites auríferas; A: Lineamento E-W – estação encruzilhada; B: Lineamento E-W – estação Água Levada; C: ZCAC	67
Figura 31: Ilustração de fácies litológicas portadoras de pré-concentrações de Au singenéticas ou já relacionadas com uma remobilização metassomático-hidrotermal primitiva.	68
Figura 32: Tipologia das partículas de ouro em diferentes formas de acolhimento em arsenopirite (observação em MOLR N//, excluindo A): A – Au reticular na arsenopirite (AR) e no seio de quartzo (QZ) + blenda (BL) ± galena (GL) ± apatite (AP) (Au 0 em conteúdos diferenciados induzidos por deformação e “annealing” influencia o contraste de fase ótico da arsenopirite – Ar1 distinto de Ar2 – em MOLR, com ligeiro cruzamento dos nicóis); B – Exsolução zonal de Au nativo, primitivo, automórfico (Au 1), em porções centrais da arsenopirite (AR); C – Au 2, nativo, exsudado após “annealing”; D – Au 3 (electrum) em fraccionação de galena (GL) => calcopirite (CP) em oclusão de ruturas <i>en échelon</i> no seio da arsenopirite cisalhada (AR); E – Au 4 heterogéneo (electrum e/ou prata dourada) em acolhimentos de cinemática polifásica, dilatacional, no seio de arsenopirite com inclusões de pirrotite (PR).	70
Figura 33: Arsenopirite inicial com zonamento epitáxico induzido por crescimento cristalino, fraccionado, e zonamento sectorial decorrente de deformação, com annealing associado. Notam-se variações do conteúdo de Au reticular relacionadas com “annealing-recovery” e expressões polimetálicas de Bi e Te, possivelmente com a mesma origem. (extraído de Dias & Leal Gomes (2011);	71
Figura 34: Inclusão de Au em arsenopirite	73
Figura 35: Electrum em ruturas de arsenopirite associado a galena.....	73
Figura 36: Conjunto de evidências de Au relacionado com a deposição de blenda.	74
Figura 37: Deposição de electrum associado a galena em ruturas de arsenopirite	75
Figura 38: Microsítio dilatacional com acolhimento de Au.	76
Figura 39: Acolhimento de electrum em microlocalização transtensiva em arsenopirite. Modelo de evolução de deformação progressiva de ruturas de arsenopirite.	78
Figura 40: Microlocalização de electrum em rutura de arsenopirite em ganga quartzosa; Ruturas desenvolvidas em regime transcorrente a tangencial com desenvolvimentos de geometrias de Riedel na	

arsenopirite; Raturas preenchidas por calcopirite e galena com precipitação de Au. Verificam-se transições de galena a calcopirite e de calcopirite a electrum (assinaladas a azul) 78

Figura 41: Síntese ilustrativa das geometrias de acolhimento de Au; A: Binário sinestrógiro em regime dúctil-frágil: transpressão a dilatação; B: “rebound” dilatacional após compressão; C: cisalhamento envolvente em zona de sombra; D: indentação; E: “en échelon” dúctil; F: catáclase periférica, rotacional, dúctil; G: estiramento (em “crack-seal”) propagação dilatacional; H: microlocalizações transtensivas após micro-transpressão; I: dominó inverso; J: deformação progressiva de coaxial a não-coaxial; 79

Figura 42: Arsenopirite em ganga quartzosa, com preenchimento de raturas por galena e electrum. Localização das análises realizadas. 80

Figura 43: Modelo de instalação do granito de Arga aproveitando estruturas precoces, possivelmente D2. 89

Figura 44: Localização das propostas de sondagem a realizar na região de Alto do Cavalinho; Pontos de entrada: Ponto A (604 metros) e Ponto C (584 metros)..... 93

Figura 45: Perfil esquemático do perfil A-B, com proposta de sondagem..... 94

Figura 46: Perfil esquemático da sondagem B-C 95

Índice de Quadros

Quadro 1: Litologias de falha de Sibson 1977 (Adaptado de Gomes 1994)	5
Quadro 2: Conjunto de níveis de organização e escalas de observação utilizadas no estudo das estruturas e mineralizações associadas. (Adaptado de Gomes, 1994)	21
Quadro 3: Quadro de modos de contacto da zona de cisalhamento Argas-Cerquido.	45
Quadro 4: Quadro paragenético da zona de cisalhamento Argas-Cerquido.	48
Quadro 5: Fases de mineralização da zona de cisalhamento Argas-Cerquido	49
Quadro 6: Modos de contacto do lineamento E-W.....	52
Quadro 7: Quadro paragenético do lineamento E-W.....	53

Índice de Tabelas

Tabela 1: Análise química de arsenopirites do lineamento Argas-Cerquido ("N.A.": não analisado; "-" inferior a limite de detecção)	61
Tabela 2: Análise química de arsenopirites do lineamento E-W; EW-A: estação de Encruzilhada; EW-B estação de Água Levada. ("N.A.": não analisado; "-" inferior a limite de detecção).....	63
Tabela 3: Análises realizadas em partículas de Au identificada na figura 36	81

Capítulo I

Introdução

I. Introdução

Na região envolvente do maciço granítico da Serra de Arga ocorrem cerca de duas centenas de antigas minas e trabalhos artesanais que incidiram sobre ocorrências de Sn- Nb- Ta, W, Au e Zn, andaluzite e feldspatos Gomes (1994). As mineralizações desenvolveram-se ao longo do campo filoniano de arga, em regime pegmatítico e hidrotermal.

Em trabalhos prévios sobre mineralizações da Serra de Arga, no Minho, percebe-se a importância da rede de cisalhamentos, com reativações cinemáticas múltiplas em diferentes regimes, para o alojamento de mineralizações polimetálicas (Leal Gomes & Gaspar, 1992; Dias, 2011; Leal Gomes, 2010; Leal Gomes, 2010; Dias, & Leal Gomes, 2010). No bordo oriental da Serra de Arga, Norte de Portugal, ocorrem diversas zonas de cisalhamento que permitiram a focagem de fluidos hidrotermais e a precipitação de paragénese características destes sistemas. Os cisalhamentos existentes correspondem a estruturas com componente transcorrente de idades tardi-hercínicas por vezes reativando estruturas precoces ou proto-lineamentos, ativos, possivelmente, desde a 2ª fase Varisca de deformação (D2).

I. 1. Interesse e objetivos

Este trabalho incide sobre a estruturação e o acolhimento das mineralizações hidrotermais na Serra de Arga, com particular interesse no duplex peri-diapírico descrito em Gomes e Gaspar (1992). Surgem assim os objectivos gerais da presente dissertação:

- Cartografar as estruturas mestras principais e duplex do compartimento oriental da Serra de Arga e caracterizar os seus regimes deformacionais preponderantes;
- Discriminar micro ou mesoestruturas com origem em diferentes episódios de deformação;
- Discriminar as associações paragenéticas no espaço e no tempo indexando-as aos episódios deformacionais;
- Analisar as possíveis relações entre a sucessão de diferentes associações mineralógicas e a génese e evolução de estruturas de cisalhamento;
- Promover a sistemática dos modelos de estruturação de minérios.

I. 2. Considerações sobre zonas de cisalhamento – aproximação teórica

A deformação de rochas é um processo principalmente heterogéneo. Um dos principais mecanismos de deformação heterogénea é a concentração da deformação em zonas planares que acomodam os esforços derivados dos deslocamentos de rochas (Passchier & Trouw, 2005). As zonas de cisalhamento são definidas como zonas tabulares, planares a curvilíneas que concentram as tensões das rochas adjacentes, resultando na deformação das rochas que se encontram na caixa de falha (Davis & Reynolds, 1996). O processo de deformação em zonas de cisalhamento provoca o desenvolvimento de *fabrics* característicos e associações minerais que refletem as condições de pressão e temperatura, as direções de movimento e o registo da deformação.

O conjunto de alterações dos materiais presentes na caixa de falha durante o processo de deformação e a consequente acumulação de registos da deformação que estas rochas apresentam denomina-se deformação progressiva, e numa perspetiva cinemática, pode desenvolver-se em regime coaxial, não coaxial ou com os dois em simultâneo (Van der Pluijm & Marshak, 2004). A deformação coaxial é característica de cisalhamentos puros, que correspondem a cisalhamentos em que a deformação não apresenta componente rotacional. A deformação não-coaxial ocorre em cisalhamentos simples, em que os minerais são sujeitos a componente rotacional (Passchier & Trouw, 2005).

As estruturas de cisalhamento que atingem níveis inferiores da crosta apresentam segmentos que variam de frágil, sectores superficiais, a dúctil, em maiores profundidades. A profundidade a que a transição entre regime dúctil e regime frágil ocorre é variável e depende de fatores como: gradiente geotérmico; granulação; litótipos; pressão de fluidos; orientação do campo de tensões; e ocorrência de *fabrics* pré-existentes (Passchier & Trouw, 2005). Sibson (1977) aponta o intervalo de temperaturas compreendido entre 250°C e 350°C para a região de transição entre deformação em regime frágil e deformação em regime dúctil. Contudo este intervalo é variável mediante o conjunto de fatores referidos anteriormente.

As rochas que ocorrem em caixas de falha são definidas como variedades litológicas cuja ocorrência está relacionada com deslocamentos a profundidades variáveis. Sibson (1977) propôs a interpretação das litologias de falha com base em critérios texturais, salientando que a interpretação tem de contemplar que as texturas podem ser herdadas do encaixante ou, ser produzidas por outros processos geológicos. A classificação textural de rochas de falha apresentada em Sibson (1977) é apresentada no Quadro 1.

C/ Fabric desordenado		Foliadas		Incoerentes				
Brecha de falha (fragmentos visíveis > 30%)								
Brecha de fragmentação (fragmentos visíveis < 30%)								
Vidro	Pseudotaquilito			Coerentes				
Subgranulação domina relativamente ao crescimento cristalino	Brecha de esmagamento (frag. > 0.5cm)		0 - 10%		Proporção de matriz			
	Brecha de esmagamento (frag. 0.1- 0.5cm)							
	Brecha de esmagamento (frag. < 0.1cm)							
	Protocataclasito	Série cataclástica	Protomilonito			10 - 50%		
	Cataclasito					Filonitos	Milonito	50 - 90%
	Ultracataclasito							Ultramilonito
Franco crescimento cristalino			Blastomilonito					

Quadro 1: Litologias de falha de Sibson 1977 (Adaptado de Gomes 1994)

As rochas formadas em regime frágil podem ser divididas em rochas coerentes e incoerentes, em que as primeiras se formam em falhas que estiveram ativas a níveis muito superficiais da crosta, originando texturas com *fabric* desordenado. Enquadram-se neste conjunto o *gouge* e as brechas de falha. As rochas coerentes podem apresentar tendência cataclástica se apresentam *fabric* desordenado ou milonítica no caso de rochas foliadas, caracterizam-se por predominar a subgranulação dos minerais relativamente ao crescimento cristalino. Com base na proporção de matriz, definem-se como: protocataclasitos (10-50%); cataclasitos (50-90%); ou ultracataclasitos (90-100%) na série cataclástica; e como protomilonitos (10-50%); milonitos (50-90%); e ultramilonitos (90-100%) na série milonítica. Nos litótipos em que o crescimento cristalino é o processo dominante desenvolvem-se texturas blastomiloníticas.

Na distribuição das texturas definidas por Sibson (1977) em zonas de cisalhamento é geralmente progressiva, as texturas incoerentes surgem a níveis superficiais da estrutura enquanto rochas coesas

surtem em profundidade, iniciando-se por litologias cataclásticas formadas em regime frágil que com a profundidade e o incremento de factores como temperatura e pressão podem ser transpostas a litologias de carácter milonítico, formadas em regime dúctil. Na Figura 1 apresenta-se o processo de deformação que pode ocorrer num granito com fenocristais quando deformado numa estrutura de cisalhamento à medida que a deformação é transposta de regime frágil a dúctil.

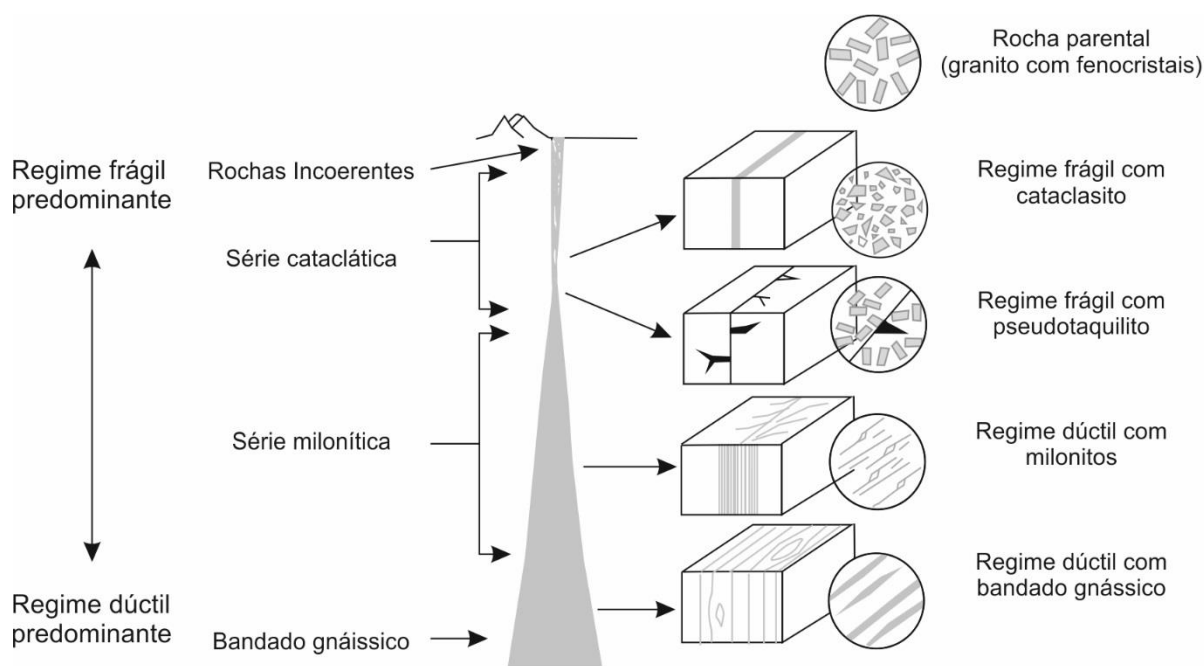


Figura 1: Perfil generalista da variação de rochas de falha com a profundidade em resposta à deformação. Adaptado de Passchier e Trouw

O conceito de *shear zone networking* consiste na análise da disposição geométrica do conjunto de estruturas que constitui uma rede de cisalhamentos. Esta análise é útil no estudo do funcionamento de estruturas de cisalhamento desenvolvidas em diferentes fases de deformação e do modo como estruturas precoces podem influenciar a evolução ou desenvolvimento de estruturas tardias (Pennacchioni & Mancktelow, 2007). A interseção de estruturas designa-se neste trabalho por nodos ou pontos nodais.

As estruturas de cisalhamento correspondem a estruturas em que é frequente a deposição de fluidos hidrotermais. Os depósitos hidrotermais formam-se devido ao processo de circulação de fluidos que permite a remobilização de metais, focando-os na caixa de falha em locais de carácter preferencialmente dilatacional.

O conceito de fluido hidrotermal pode ser definido como solução aquosa de temperatura variável entre 50°C e 500°C, contendo solutos que podem precipitar à medida que ocorrem alterações na solução e/ou variações nas pressões confinantes exercidas pelo meio ao longo do tempo (Pirajno, 2009). A origem dos fluidos pode ser de diversas proveniências, a água constituinte de um fluido hidrotermal

pode ser de origem marinha, meteórica, metamórfica, juvenil ou magmática. No entanto a maioria das soluções hidrotermais apresenta águas provenientes de diversas origens correspondendo a águas de mistura. No caso peculiar das águas meteóricas estas infiltram-se no solo podendo atingir profundidades consideráveis onde por incremento da temperatura se desenvolvem fenómenos de mobilização de elementos constituintes das rochas.

As paragénese resultantes de deposição a partir de fluidos hidrotermais são frequentemente caracterizadas pela ocorrência de sulfuretos entre os quais se destacam, como minerais mais comuns: pirrotite; pirite; arsenopirite; blenda; calcopirite; e galena. Associadas a estas mineralizações podem ocorrer mineralizações de ouro e prata, por vezes passíveis de aproveitamento económico (Bonnemaison & Marcoux, 1990).

Em Bonnemaison & Marcoux (1990) é proposto, com base no estudo de múltiplas estruturas de cisalhamento situadas em França e Burquina-Faso, um modelo de deposição de mineralizações auríferas em estruturas de cisalhamento. O modelo apresenta 3 estádios indicativos do aumento progressivo da concentração de ouro no processo de evolução da estrutura de cisalhamento e que compreendem um estágio precoce em que o ouro ocorre sob a forma de *invisible gold*, um estágio intermédio em que ocorre sob a forma de partículas finas e um estágio tardio em que ocorre a formação de pepitas de Au.

O estágio precoce é caracterizado pela formação de sulfuretos portadores de Au e divide-se em dois episódios, o episódio inicial é relativo à fixação de Au na estrutura enquanto o segundo episódio retrata o aumento das concentrações de Au.

O episódio 1 retrata a migração de Au do protólito inicial para as estruturas de cisalhamento veiculadas por fluidos hidrotermais. Como já foi referido anteriormente as zonas de cisalhamento são estruturas em que se foca a deformação promovendo a alteração de rochas na caixa de falha para litótipos de tendência cataclástica a milonítica. Estas estruturas adquirem elevada permeabilidade o que permite a mobilização de fluidos hidrotermais para a caixa de falha.

A ação combinada da deformação e da circulação hidrotermal provocam alterações da composição das rochas quer numa perspetiva mineralógica, quer geoquímica. O processo de alteração hidrotermal é acompanhado por cristalização de pirrotite com Au reticular, disseminada em fácies miloníticas ao longo da estrutura, podendo os conteúdos de Au atingir valores de 30 ppm. A pirrotite “aurífera” é provavelmente escassa em fácies miloníticas, o que conseqüentemente significa que as concentrações não são económicas. O acolhimento de Au em pirrotite constitui um episódio de grande importância por acolher o Au nas estruturas de cisalhamento nas fases de tendência dúctil em que os fluidos precipitam fases minerais a temperaturas mais elevadas.

O segundo episódio retrata o incremento da concentração de Au na estrutura de cisalhamento, sendo reposicionado em sulfuretos de ferro. Nesta fase a pirrotite formada no primeiro episódio é convertida por ação hidrotermal em pirite e marcassite libertando o ouro. No entanto, quando o fluido que circula na zona de cisalhamento é rico em arsênio, forma-se arsenopirite que marca as principais venulações da estrutura. Os cristais de arsenopirite são geralmente finos (20-200 μm) e ocorrem em fácies mais silicificadas. Os autores referem ainda que o episódio que destabiliza a pirrotite aurífera é contemporâneo da deposição de arsenopirite e que o ouro libertado durante o processo de substituição da pirrotite é fixado sob a forma de uma solução sólida nas regiões periféricas dos cristais de arsenopirite. Este processo resulta em zonamento químico dos cristais com As e Au a aumentarem nas regiões periféricas enquanto Fe e Sb diminuem da região central do cristal para a região periférica.

O mecanismo proposto para a incorporação de Au na estrutura da arsenopirite é apresentado em Johan *et al.* (1989) que consiste numa reação de substituição de acordo com a equação $2 \text{As [Fe]} \rightleftharpoons (\text{Au, Sb}) + \text{Fe}$, em que As [Fe] corresponde a As no loci de Fe.

Em suma, Bonnemaïsson & Marcoux (1990) descrevem o segundo episódio como um incremento da concentração de Au na estrutura de cisalhamento, podendo os depósitos correspondentes ser classificados como zonas de cisalhamento auríferas em estados precoces de evolução, ou seja, zonas de cisalhamento auríferas em que não ocorre expressão mineralógica de Au.

O estágio intermédio corresponde ao conjunto de processos que promovem a expressão mineralógica de Au e divide-se em dois episódios, a formação das estruturas portadoras e a concentração de ouro. O terceiro episódio corresponde à formação das estruturas portadoras. Desde os episódios mais precoces de deformação em estruturas de cisalhamento que pode ocorrer a formação de estruturas que favorecem a ocorrência de venulações de quartzo. Por vezes podem também ocorrer diques de diabase ou dioritos que apesar de serem potenciais portadores não atingem concentrações económicas.

O episódio 4 é o processo de concentração de ouro que dá origem à maioria dos depósitos auríferos em zonas de cisalhamento. Durante as sucessivas reativações da estrutura ocorre a formação de cataclase na qual se formam os locais propícios à deposição de Au. Nesta etapa a circulação de fluidos hidrotermais, ricos em Fe, Zn, Pb e Cu, destabiliza sulfuretos portadores de Au (arsenopirite e/ou pirrotite) formados nos estádios precoces e promovem a ocorrência de Au nativo que apresenta elevada pureza (superior a 85% de Au). As mineralizações de Au ocorrem sob a forma de pequenas inclusões (1-100 μm) em sulfuretos ou em venulações de quartzo microssacaroide que se pode formar neste episódio. As temperaturas estabelecidas para o estágio intermédio situam-se entre 250° e 350°C, dados obtidos através do estudo inclusões fluidas (Hubert, 1986; Touray J. , 1987; Touray J. M., 1989)

O estágio tardio corresponde ao episódio final dos reposicionamentos de Au no qual se formam pepitas maioritariamente de electrum. Durante as fases tectónicas tardias, em regimes transtensivos, podem formar-se sistemas de ruturas e fraturas na estrutura de cisalhamento, provocando etapas finais de deposição. Os conjuntos de minerais que se formam nestas condições são muito variáveis, de acordo com os processos tectónicos que condicionam o seu desenvolvimento.

A formação gradual de nodos dilatacionais tardios é sincrónica das últimas incursões de fluidos que precipitam essencialmente minerais de cobre, prata e chumbo. É comum nesta fase surgirem inclusões em galena de sulfuretos de prata e antimónio.

O ouro desta fase ocorre sob a forma de pequenas pepitas que apresentam maior conteúdo em prata relativamente às partículas do estágio intermédio (20-60% de Ag). Os fluidos tardios apresentam geralmente temperaturas entre 150° e 200°C. Quando as estruturas se desenvolvem em formações de carácter vulcânico, sedimentar ou em rochas plutónicas de textura porfírica é possível ocorrer a formação de stockworks de quartzo, geralmente acompanhado por carbonatos.

I. 3. Enquadramento da área de estudo

1. 3. 1. Enquadramento geográfico

Numa perspetiva administrativa a Serra de Arga, que serve de base aos trabalhos realizados no presente estudo, está situada no distrito de Viana do Castelo, abrangendo os concelhos de Caminha, Paredes de Coura, Ponte de Lima, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira (Figura 2).



Figura 2: Enquadramento geográfico da área de estudo

A Serra de Arga domina numa perspetiva geomorfológica a região, correspondendo a cota mais elevada ao vértice geodésico de Bretial, 801 m. O maciço de forma elipsoide apresenta vertentes repletas de linhas de água que drenam para o rio Lima, a S, para o rio Âncora a W e para o rio Coura a N.

I. 3. 2. Contexto tectónico

O Maciço Ibérico constitui a região mais ocidental da cadeia Varisca na Europa, ciclo que decorreu entre o Câmbrio médio e o Pérmico Inferior. A compartimentação das unidades geotectónicas do Maciço

Ibérico com critérios paleogeográficos foi apresentada por Lotze (1945) e modificada por Julivert (1974), Farias (1987) e Ribeiro (197). O contributo destes autores para o conhecimento atual permite caracterizar o Maciço Ibérico distinguindo as zonas Ossa Morena (ZOM), Sul Portuguesa (ZSP), Cantábrica (ZC), Asturico-Leonesa (ZOAL), Zona Centro Ibérica (ZCI) e ainda a zona Galiza Média-Trás-os-Montes (ZGTM).

A região da Serra de Arga na qual se insere a área de estudo enquadra-se na zona paleogeográfica Zona Galiza Média-Trás-os-Montes considerada, pela primeira vez, como zona tectonoestratigráfica por Farias et al (1987), até então interpretava-se a ZGTM como uma subzona da Zona Centro Ibérica (Julivert et al., 1974). Esta zona é composta por unidades parautóctones e alóctones das quais se destacam os complexos ofiolíticos de Bragança, Morais e Ordenes (Figura 3).

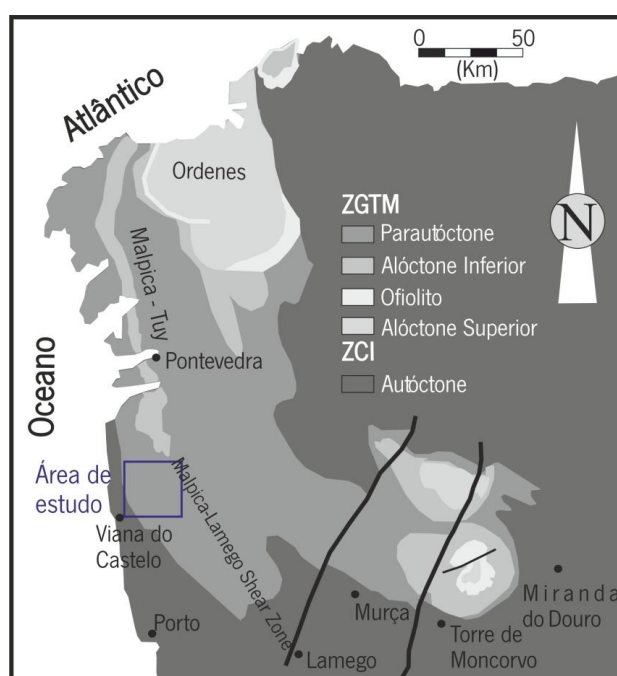


Figura 3: Enquadramento da área de estudo na zona Galiza Média-Trás-os-Montes, adaptado de Ribeiro (1991)

A Oeste da área de estudo ocorrem unidades constituintes da Zona Centro Ibérica (ZCI), inicialmente proposta na compartimentação de Lotze (1945). A ZCI corresponde à zona paleogeográfica mais central do Maciço Ibérico, bordada a Norte pela Zona Oeste-Asturico-Leonesa (ZOAL) e a Sul pela Zona Ossa-Morena (ZOM). As formações desta zona são sequências autóctones, entre as quais se destaca o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), testemunho da sedimentação que ocorreu entre o final do Proterozóico até ao Câmbrio sobre o qual assentam em discordância as formações do Ordovícico. O magmatismo está muito presente através de corpos intrusivos ante-orogénicos, sinorogénicos e pós-orogénicos (Ferreira *et al.*, 1987).

I. 3. 3. Sucessão de fases de deformação do ciclo Varisco

O ciclo Varisco corresponde ao ciclo de Wilson que se desenvolveu no decurso do Paleozóico, iniciando-se no Câmbrio médio com a abertura dos oceanos paleozóicos e cujo final, no Pérmico inferior, é colmatado por episódios de deformação intracontinental transcorrente (Ribeiro, 1991). De acordo com Dias (2010), este ciclo pode ser dividido em 4 episódios evolutivos principais.

- Entre o Câmbrio médio e o Silúrico Médio (540 – 420 Ma) a extensão generalizada terá predominado o que estará na origem da abertura de oceanos paleozóicos limitados por margens passivas;
- Entre o Silúrico médio e o Devónico médio (420 – 390 Ma) terá ocorrido o início de subducção nos oceanos paleozóicos com abertura subordinada de bacias marginais pós-arco, bem como obducção de lâminas ofiolíticas e eventos termometamórficos de alta pressão;
- Do Devónico médio ao final do Carbónico (390 – 300 Ma) a colisão continental entre a Gondwana e os continentes setentrionais deu origem à formação do supercontinente Pangeia, este processo é acompanhado de anomalias térmicas geradoras dos granitóides e metamorfismo de alta temperatura;
- Entre o Carbónico superior e o Pérmico inferior (300 – 270 Ma) terá predominado a deformação intracontinental transcorrente.

I. 3. 4. Enquadramento geológico

A área em estudo localiza-se na vertente Este da Serra de Arga, região NW do maciço Ibérico, e compreende unidades metassedimentares de idades compreendidas entre os períodos Câmbrio e Devónico da Era Paleozoica, granitos vestefalianos e bacias de cobertura de idade Cenozóica e Quaternária, de reduzidas dimensões. Esta área abrange a folha 1 (Pereira *et al.*, 1989) à escala 1:200 000, em cartografia de maior detalhe esta região é representada nas folhas 1C (Teixeira e Assunção, 1961) e 5A (Teixeira *et al.*, 1972) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000. Em Leal Gomes (2008) é apresentada a revisão da carta 1-C.

A área envolvente à Serra de Arga enquadra-se na Zona Galiza Média Trás-os-Montes reinterpretada por Ribeiro (1974) e na qual se incluem terrenos alóctones e parautóctones. Esta região abrange os terrenos parautóctone pertencentes à Unidade do Minho Central e Ocidental definidos em Pereira (1989).

A Unidade do Minho Central e Ocidental (UMC) é classificada em Pereira (1989) como parautoctone estando separada do autóctone por um carreamento basal - carreamento de Vila Verde. A sequência litoestratigráfica da unidade foi estabelecida segundo o corte de Azevedo e no corte em Capela da Sr^a das Neves, NW da Serra de Arga e consiste nos seguintes litótipos: na base a unidade inicia-se por um nível de xistos ampelitosos, aos quais estão sobrepostos cistos negros andaluzíticos, contendo na parte superior liditos, em seguida xistos cinzentos, por vezes ligeiramente gresosos onde são visíveis leitões de metassiltitos nodulosos, devido à presença de andaluzite. Na região da capela da Sr^a das Neves a sequência descrita inclui quartzitos, xistos negros com níveis finos de liditos, sobrepostos por grés negros e alternância centimétrica de filitos e metagrés que incluem aspectos nodulares. No topo da sequência são descritos novamente xistos negros, grés negros e ampelitos. Pereira (1989) denota ainda que a sequência supracitada corresponde à reconstituição do equivalente ao flanco normal de uma macrodobra deitada de F1 hercínica, redobrada em F3. O autor sugere que esta fase dá lugar ao antiforma de Viana do Castelo e a um grande sinforma situado a Este, cuja charneira de direcção próxima de N-S é verificada em Arga S. João

No que respeita aos granitóides que ocorrem na área de estudo salienta-se a existência dos plutonitos do maciço de Arga e do maciço de Sto. Ovídeo. O maciço de Arga é constituído por granito de duas micas, grão médio a grosseiro e tendência porfiróide fraca. Cartograficamente apresenta forma elipsoide, cujo eixo de maior extensão tem direcção NW-SE. Dias (1987) sugere para o maciço de Arga uma colocação diapírica (com importante entumescimento), síncrona da fase de deformação Fn+1 e de idade 305 ± 6 Ma (Vestefaliano).

O maciço de Santo Ovídeo corresponde a um granito de duas micas de grão médio a fino e tendência porfiróide de instalação precoce possivelmente na interfase Fn - Fn+1 de Dias (F2 - F3 de Ribeiro, 1974) no Viseano-Namuriano, a idade apontada para a instalação do maciço de Sto Ovídeo é de 332 ± 5 Ma Dias (1987).

Na revisão da carta 1C de Leal Gomes (2008) a Unidade do Minho Central e Ocidental é revista e subdividem-se os terrenos existentes na vertente oriental da Serra de Arga no domínio de unidades poligénicas parautoctones e alóctones. Os terrenos proximais à Serra de Arga enquadram-se no domínio de mantos e dobras associadas ao antiforme de Covas pertencente à unidade de Valença e/ou Vila Nune atribuída ao Silúrico Médio (Landoveriano) e é constituída essencialmente por formações psamopelíticas poligénicas com intercalações de quartzitos, xistos negros, com nódulos negros de fosfato, liditos e litologias psamíticas exóticas (Figura 4).

Os terrenos distais à vertente oriental da Serra de Arga enquadram-se na formação do Formigoso pertencente à Unidade do Minho Central e que é constituída por micaxistos com segregações quartzosas e quartzo-andaluzíticas venulares e intercalações de xistos negros, quartzitos silicificados, quartzitos negros e turmalinitos.

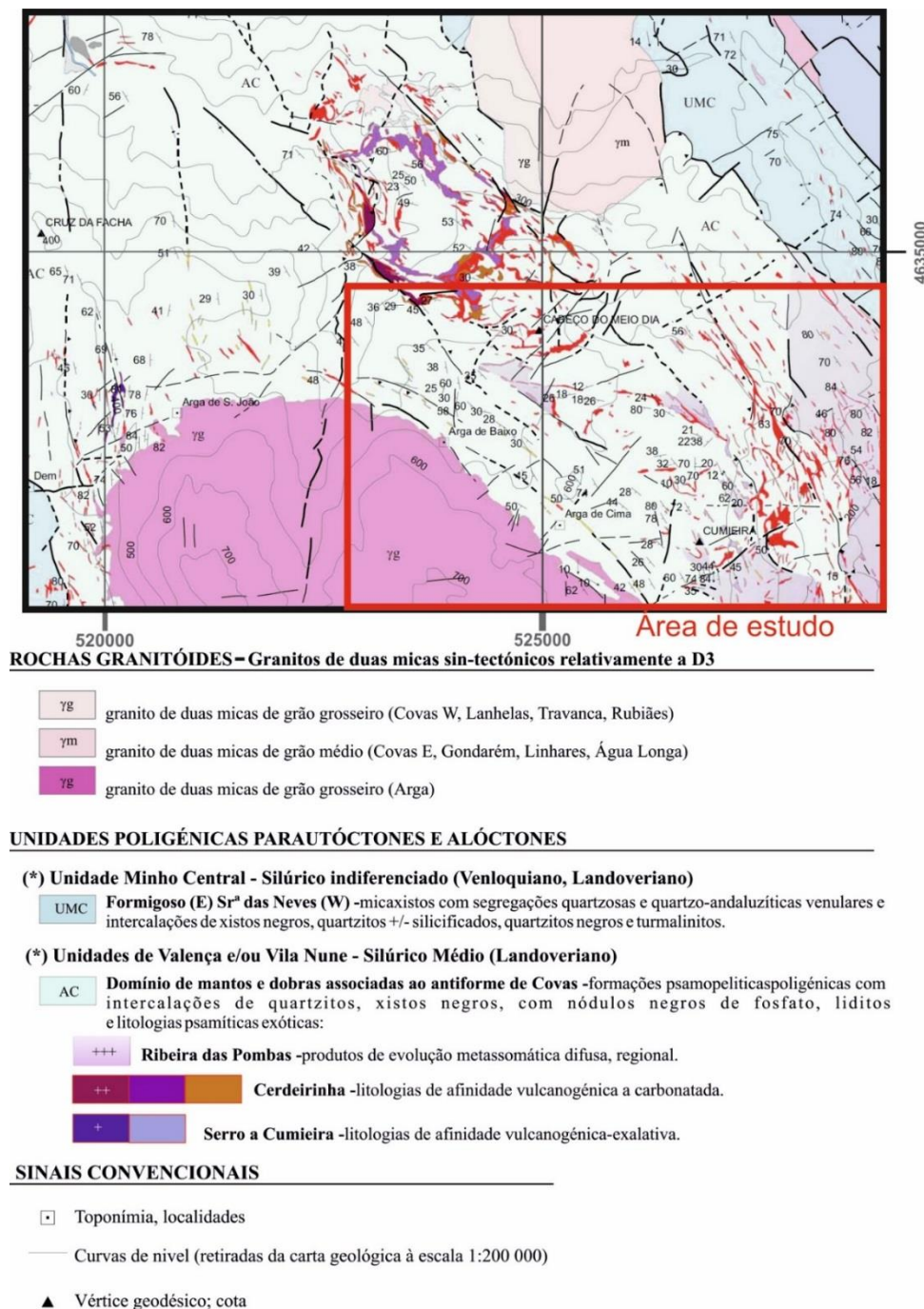


Figura 4: Área de estudo enquadrada em secção da folha 1 C revista em Leal Gomes (2008).

I. 3. 5. Fases de deformação da envolvente de Arga

A caracterização da deformação na região em estudo é realizada em Dias (1987) referindo a existência de pelo menos duas fases de deformação (F_n e F_{n+1}). De acordo com o autor a fase de deformação F_n manifesta-se pela formação de pequenas dobras deitadas, decimétricas, subisoclinais desenvolvendo-se ainda xistosidade de plano axial (S_n), subhorizontal. A superfície S_n é marcada pelo alinhamento de pequenas lamelas de biotite e as rochas apresentam estrutura bandada com alternância fina de bandas biotíticas e quartzosas.

A fase de deformação F_{n+1} é segundo o autor responsável pelas grandes estruturas cartografáveis e correlacionável com a fase F_3 de Ribeiro (1974). Manifesta-se pelo desenvolvimento de dobramentos de plano axial subvertical, com direcção geral N40W. Os maciços graníticos ocupam os núcleos de antiformas desta fase. As dobras associadas são geralmente simétricas ou ligeiramente inclinadas, com eixos subhorizontais a fraco mergulho ($<25^\circ$) para Sul.

Nos metassedimentos mais quartzosos ou nos domínios de menor intensidade de deformação D_3 apenas se verifica crenulação de S_2 ou dobramento fraco. A superfície S_3 não se desenvolve ou encontra-se fracamente marcada por uma recristalização da biotite paralelamente ao plano axial das dobras (Dias, 1987).

Resumidamente de acordo com as fases de deformação estabelecidas em Dias (1987) a deformação do sector em estudo é caracterizada por dois episódios: um episódio precoce de componente tangencial e um segundo episódio compressivo com importante componente marcada por cisalhamentos sinestrógiros.

As diferentes fases de deformação encontram-se preservadas em diferentes sectores da região envolvente da Serra de Arga. As heterogeneidades da deformação são descritas em Leal Gomes (1994) em que é proposta a divisão da envolvente da Serra de Arga em sectores de diferente intensidade de deformação em D_3 a partir da disposição das superfícies:

- Sector A – envólvecia dos pontos triplos, onde ocorre essencialmente constrição. A transposição $S_2 \rightarrow S_3$ é pouco significativa e atípica mas S_2 embora essencialmente subhorizontal, apresenta-se fortemente deformada;
- Sector B – zonas de sombra entre maciços em que a transposição $S_2 \rightarrow S_3$ é incipiente;
- Sector C – de forte transposição $S_2 \rightarrow S_3$;

- Sector D – são sectores em que os metassedimentos denotam uma maior competência e em que portanto, estão preservadas algumas estruturas S2, desde que não tenha havido recristalização extensiva.

Os domínios em que se enquadra a descrição apresentada em Leal Gomes (1994) são ilustrados na Figura 5.

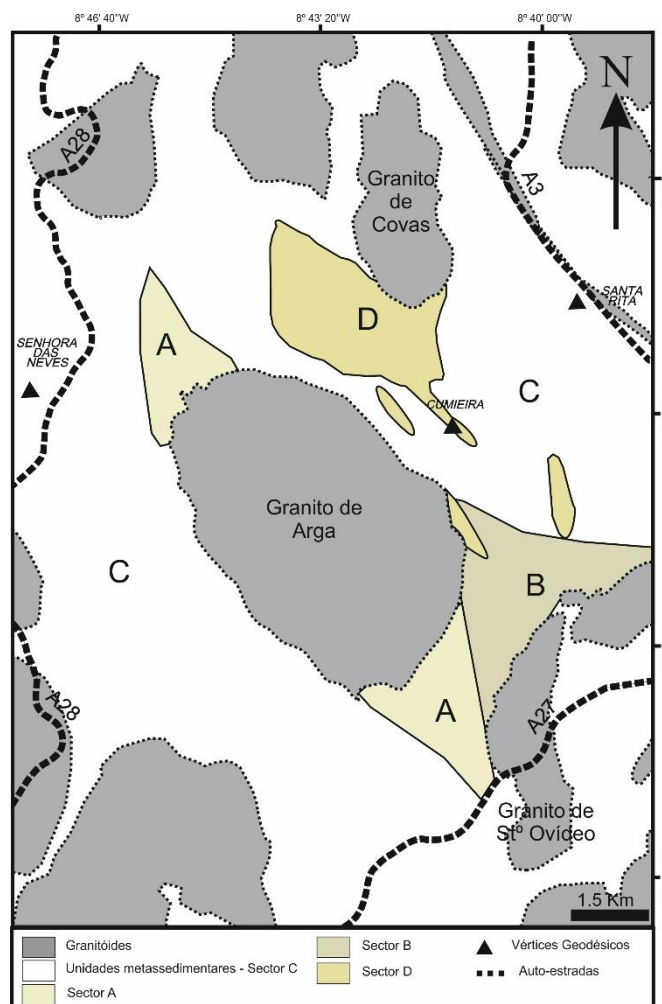


Figura 5: Compartimentação estrutural do campo à luz da interferência entre a deformação regional e o diapirismo Sectores definidos em Gomes (1994)

Numa perspetiva geral Leal Gomes (1994) define as estruturas desenvolvidas em D3 como cisalhamentos dúcteis-frágeis NW-SE com definição de bandas *kink* NE-SW e E-W ou como desligamentos direitos, dúcteis-frágeis a frágeis.

Leal Gomes (1994) reconhece ainda a influência de episódios tardios de deformação na orientação de estruturas megaescalares na envolvente da Serra de Argá. Em D3' o autor descreve a retoma das orientações de bandas *kink* e cisalhamentos frágeis-dúcteis com as mesmas atitudes das bandas *kink*.

Destaca ainda a melhor definição dos alinhamentos E-W, pela transcorrência E-W megacontinental e fenómenos de recuperação elástica.

I. 4. Trabalhos prévios relativos à estruturação e depósitos hidrotermais associados na vertente Este da Serra de Arga

O campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga, definido em Gomes (1994) corresponde ao conjunto de veios aplito-pegmatíticos e pegmatíticos filiados no plutonito diapírico de Arga. Estes corpos intruem metassedimentos silúricos, cujo máximo metamorfismo está marcado pela ocorrência de cordierite, derivada do pico máximo de deformação relativo à fase D3 (Dias, 1987).

As etapas finais da evolução do campo filoniano de Arga caracterizam-se pelo controlo estrutural de componente sinestrógiro exercido nestes terrenos, tardio relativamente à instalação do granito diapírico da Serra de Arga. Este processo resulta na formação de zonas de cisalhamento nas unidades metassedimentares que podem apresentar cataclase a milonitização em alguns corredores de cisalhamento. Ocorrem na envolvente de Arga veios pós-pegmatóides constituídos por quartzo com mineralizações de volframite e sulfuretos, ou então de paragénese complexas de Pb-Bi-Ag-Au (Leal Gomes, 1995).

I. 4. 1. Estrutura dos corpos mineralizados

Em Leal Gomes & Gaspar (1992) a vertente Este da Serra de Arga, sector entre Argas e a Serra do Formigoso, é considerada área-chave para a compreensão integrada das mineralizações pós-pegmatóides do campo de Arga. Destaca-se a ocorrência de numerosos *sills* pegmatóides filiados na evolução diapírica do plutonito de Arga. O controlo estrutural do enxame *sill*, e dos quartzitos subjacentes, revelam dobramento aberto pela 3ª fase de deformação hercínica. Os planos axiais S3, de direção dominante NW-SE, afetada tardiamente por cisalhamentos que se associam à transcorrência sinestrógiro tardi-diapírica de todo o sector. Dando origem a corredores de direção N 30°W, com veios dilatacionais de quartzo portadores de volframite, N 70° – 90° E, na faixa de Mãos-Ribeira da Fisga; Instalação de veios dilatacionais, segundo N 30° – 70°E, mineralizados por sulfuretos e Au, em corpos aplito-pegmatíticos de direção N 10° W, na faixa a Norte da Cabração; Reativação, devida a cisalhamento, de

estruturas pegmatóides em *cone-sheet*, do acidente Argas-Cerquido com formação de vénulas e brechas de direção dominante NW-SE, mineralizadas por W, As, Fe ou As, Zn, Fe, Pb, Cu, Bi, Ag e Au.

As geometrias estruturais ocorrem de modo distinto em função das litologias que são afetadas, por exemplo, formações mais competentes, como liditos, quartzo-filitos e aplitopegmatitos, origina-se venulação, brechificação e até milonitização. Os testemunhos da estrutura em cone-sheet, pegmatóide, apresentam *boudinage* e geometrias c/s, ocorrendo também venulações dilatacionais compatíveis com o cisalhamento sinestrógiro, assim como ruturas de Riedel principalmente em liditos. As formações menos competentes, como micaxistos, metagrauvaques, metavulcanitos e xistos negros, são mais característicos os veios do tipo *crack-seal*. As mineralizações, resultado da complexidade estrutural apresentada podem assim apresentar, mesoscopicamente, brechas de falha e de esmagamento em liditos, apresentando sucessivas silificações e deposições de sulfuretos. Por vezes verificam-se mineralizações pegmatóides exibindo fuidalidades internas, deformados em regime dúctil por F3, mostrando ruturas dilatacionais transversas, preenchidas por quartzo e arsenopirite. Verificam-se ainda crenulações devidas a F3 estão impregnadas por arsenopirite que relativamente à deformação é o mineral mais precoce da paragénese. Leal Gomes (1992) refere ainda que ao longo dos veios surgem sucessivas gerações de quartzo a acompanhar os diferentes sulfuretos, por vezes definindo ciclos de cristalização em mecanismos de *crack-seal*.

1. 4. 2. Tipologia e relações texturais das mineralizações

Gomes e Gaspar (1992) definiram cinco tipos fundamentais de mineralizações que refletem as variedades de minério e texturas baseados na composição, modo de depósito e de deformação. As fases são designadas pelo mineral dominante sendo por vezes referida também a textura.

- Minério volframítico, fortemente deformado e nunca coexistindo com as restantes variedades de minério;
- Minério arsenopirítico maciço, por vezes associado a cordierite;
- Minério arsenopirítico venular, no qual a arsenopirite ocorre automórfica no seio de ganga quartzosa;
- Minério zincífero, constituído por blenda intercalada com pirite e galena;
- Minério galenítico, que pode apresentar-se arborescente ou surgir em enchimento miarolítico.

As variedades de mineralizações descritas ocorrem normalmente sobrepostas, parcial ou totalmente, tornando possível identificar as gerações de quartzo associadas. Os episódios mais tardios correspondem a vénulas de clorite e fluorite que atravessam as fases anteriormente descritas.

1. 4. 3. O caso paradigmático do lineamento Argas-Cerquido

Em Leal Gomes (1994) o lineamento Argas-Cerquido é apresentado como estrutura mestra do duplex peri-diapírico que se desenvolve na vertente Este da Serra de Arga. O autor sugere um modelo de instalação de *cone-sheets* durante a ascensão do plutonito, que é posteriormente reativado como estruturas de cisalhamento. No contexto deformacional correspondente à transição entre a D3 e D4 Variscas, os terrenos encaixantes, metassedimentares da aba oriental do diapiro granítico de Arga, organizam-se numa estrutura em flor positiva (duplex contraccional), de acordo com um modelo transpressivo-transcorrente (Figura 6).

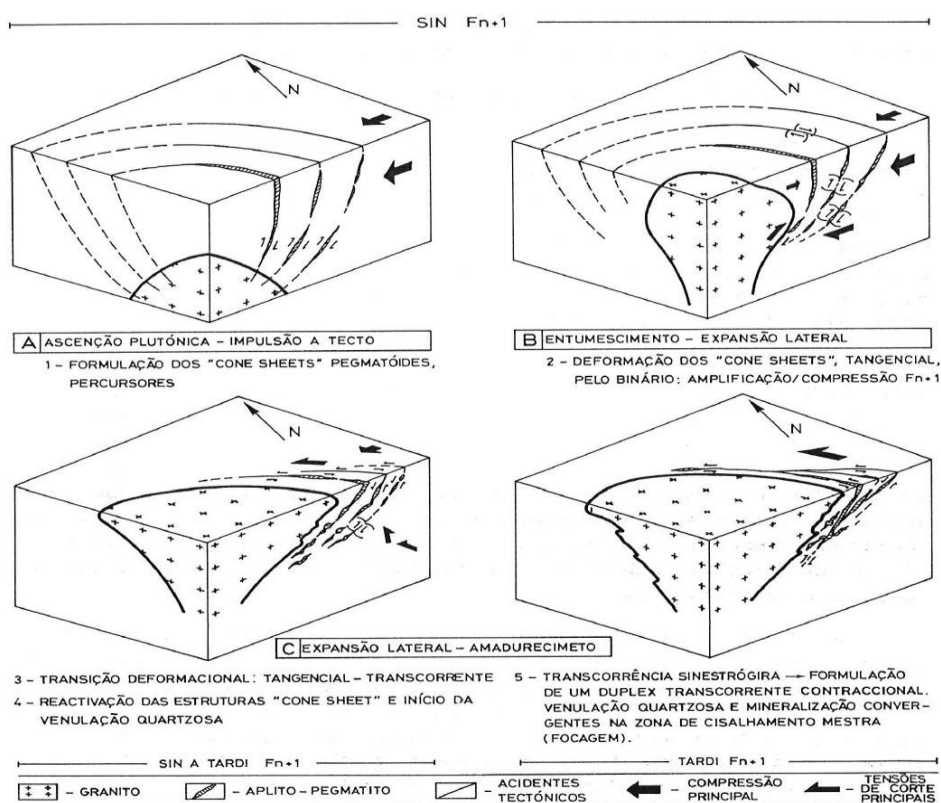


Figura 6: Evolução do duplex peri-diapírico condicionada pela instalação do granito de Arga (extraído de Leal Gomes, 1994)

Leal Gomes (1994) sugere um modelo em que a formação do duplex contraccional presente na periferia do maciço se desenvolve reativando um conjunto de *cone-sheets* formados durante a instalação

do plutonito. Na Figura 6 é apresentado o modelo proposto em Leal Gomes (1994) no qual a variação do campo de tensões na transição D3/D4 favorece a reativação de estruturas pré existentes promovendo a estruturação do duplex e as sucessivas mineralizações.

A zona de cisalhamento mestra do duplex bem como as zonas de cisalhamento laterais, estão marcadas por intensa venulação quartzosa acompanhada de mineralizações diferenciadas e alterações hidrotermais. As zonas de cisalhamento funcionam em proto-lineamentos correspondentes a um enxame aplito pegmatítico de corpos em *cone-sheets*, cuja instalação acompanha as etapas iniciais de evolução do plutonito granítico. Na sua colocação precoce, os *cone-sheets* preenchem as superfícies de interface litológica entre diferentes tipos de metassedimentos, intercalados com metavulcanitos. Posteriormente são atravessados por um enxame *sill*, tardio.

A análise geométrica dos lineamentos do duplex e sobretudo da sua zona de cisalhamento mestra, operada a diferentes níveis de organização, revela um vasto cortejo de elementos estruturais que sugerem o carácter reativado dos lineamentos, em sucessivos regimes de deformação desde dúctil até dúctil – frágil.

As venulações quartzosas e as mineralizações- W, Fe, As, Zn, Pb, Bi, Ag, Au- associadas aos cisalhamentos tardi-D3, escalonam-se segundo uma diversificação das paragénese no sentido dos episódios de reativação cisalhante, mais tardios. Ruras posteriores ainda apresentam enchimentos com electrum mas a ganga é composta de clorite + carbonatos + fluorite.

De acordo com Leal Gomes (1994) mineralização mais rica ocorre sempre na zona de cisalhamento mestra Argas-Cerquido. O autor sugere que a diferenciação paragenética que se verifica para diferentes posições estruturais do duplex é interpretada de acordo com um modelo de circulação convectiva periférica, acionada a partir da evolução térmica da aba oriental do diapiro da Serra de Arga.

1. 5. Opções metodológicas

O conjunto de metodologias estabelecidas para dar respostas aos objetivos a que se propõe o presente trabalho desenvolve-se a diferentes escalas de acordo com o objeto de estudo em análise. O objetivo de caracterizar as mineralizações associadas a processos de *shear zone networking* na vertente Oriental da Serra de Arga torna necessário a recolha de elementos geológicos a vários níveis de organização. No Quadro 2 sistematizam-se os objetos de estudo nos diferentes níveis de organização definidos que variam de análise a megaescala até à microescala.

Nível de organização	Objetos geológicos	Aspectos	Escala de observação			
			Micro	Meso	Macro	Mega
Morfologia	Mineral	Zonamentos cristalinos				
Textura	Mineral, Associação	Forma, Modos de contacto				
Fabric	Associação	Distribuição de orientações				
Estruturação	Filão ou caixa de falha	Composição, venulações				
Estruturação	Disposição das estruturas	Diferenciação das orientações				

Quadro 2: Conjunto de níveis de organização e escalas de observação utilizadas no estudo das estruturas e mineralizações associadas. (Adaptado de Gomes, 1994)

Procurou-se que o conjunto de elementos recolhidos nos diferentes níveis de organização permitisse a caracterização geral e a compreensão das relações da estruturação da vertente Este da Serra de Arga com as fases de deformação Variscas assim como compreender as ocorrências relacionadas com os depósitos hidrotermais existentes na região.

1. 5. 1. Etapas metodológicas

Na caracterização dos objetos geológicos em estudo nos diferentes níveis de organização incluem-se as seguintes componentes:

1) Análise distanciada e fotointerpretação;

A primeira abordagem realizou-se a megaescala na qual se identificaram os conjuntos de alinhamentos e lineamentos existentes na envolvente da Serra de Arga. Esta análise baseou-se inicialmente na cartografia existente à escala 1:50000 e posteriormente com análise distanciada através de imagens de satélite, nomeadamente *Google Earth* e esporadicamente *Flash Earth* como complemento. Esta etapa metodológica conclui-se no terreno tentando verificar a ocorrência dos alinhamentos identificados previamente.

2) Cartografia geológica e amostragem;

As abordagens ao terreno visaram cartografia à escala 1:5000 das estruturas observadas assim como a recolha de indícios estruturais e geométricos. Contemporaneamente realizou-se a

recolha de amostras para posterior análise paragenética e textural. De salientar que algumas das amostras chave foram fornecidas dada a impossibilidade de aceder aos locais atualmente.

3) Análise de amostras em mesoescala;

Nesta etapa metodológica analisaram-se em amostra de mão o conjunto de amostras obtidas, com o objetivo de identificar aspetos estruturais, texturais e de petrofabric. Selecionaram-se ainda as secções de amostras que seriam alvo de polimento para observação em microscopia ótica e eletrónica. A abordagem de texturas, de petrofabric e das associações minerais foi realizada em meso e microescala, procurando caracterizar e relacionar com as geometrias e estruturas.

4) Observação de amostras em microscopia ótica e eletrónica;

Em microscopia ótica observaram-se superfícies polidas em microscópio ótico de luz refletida para realização de análise paragenética, petrofabric e para definir os locais que seriam alvo de análise química pontual. Na construção de quadros de modos de contacto adotam-se os critérios Moello & Lévy (1976). A microscopia eletrónica foi utilizada como complemento na discriminação de fases mineralógicas e na obtenção de zonamentos composicionais da arsenopirite.

5) Análises químicas pontuais;

Em microsonda eletrónica realizaram-se análises químicas pontuais de arsenopirite com o objetivo de caracterizar, estimar as condições de formação e ainda analisar a presença de Au reticular e a variação intracristalina deste elemento.

1. 6. Planificação do trabalho

A estruturação do trabalho procurou sistematizar de modo adequado as diferentes áreas de conhecimento abordadas, por motivos práticos realiza-se inicialmente a análise geométrica das estruturas e posteriormente as mineralizações acolhidas nas estruturas.

O capítulo I é a secção introdutória da presente dissertação em que se define e enquadra a área de estudo, quer em contexto litológico quer em contexto tectónico, se definem os principais conteúdos e

fundamentos teóricos que serão abordados no trabalho, os resultados recolhidos por outros autores, as metodologias adotadas e finalmente se definem os objetivos do estudo.

Nos capítulos II e III são apresentados e discutidos os resultados, justifica-se a divisão em 2 capítulos pelos diferentes temas a abordar. O capítulo II refere-se à análise geométrica e cinemática da região envolvente da Serra de Arga, neste capítulo os resultados dedicam-se a análise estrutural detalhada da vertente Este da Serra de Arga, iniciando-se por uma análise generalista e culminando com análise textural. O capítulo III aborda as mineralizações hidrotermais que se desenvolveram em algumas das estruturas da região, partindo de análise de modos de contacto e procurando interpretar as condições de formação da arsenopirite, utilizando este mineral como marcador da deformação.

No capítulo IV realiza-se uma discussão integral dos dados recolhidos e as principais conclusões que se retiraram do trabalho. São ainda apresentadas neste capítulo, propostos de investigação futura.

No capítulo V é apresentado um conjunto de ilações que se tiram no seguimento dos trabalhos de Leal Gomes (1992) sobre a estrutura mestra do cisalhamento Argas-Cerquido.

Capítulo II

Análise geométrica e cinemática na vertente oriental da Serra de Arga

II. 1. Análise geométrica da região envolvente da Serra de Arga

Apesar do objetivo do trabalho ser o estudo da estruturação dúctil-frágil da vertente Este da Serra de Arga e das mineralizações relacionadas, houve necessidade de enquadrar este sector no contexto alargado dos terrenos da área envolvente da Serra de Arga. Assim, delimitou-se a Este pela zona de cisalhamento Vigo - Régua e a Oeste pelo carreamento de Orbacém, seguindo os trabalhos de Leal Gomes (1994), Dias (2011) e Alves (2014). Procura-se assim compreender as articulações de estruturas de cisalhamento que se desenvolveram no decorrer das diversas fases de deformação assim como a ocorrência de nodos ou pontos nodais e o seu potencial para acolher mineralizações.

A abordagem inicial à área de estudo recorreu a cartografia geológica na escala 1:50000, nomeadamente na carta 1C de Teixeira e Assunção (1961) e 5A de Teixeira *et al.* (1972), bem como a fotointerpretação de imagem de satélite. Esta abordagem vai no seguimento dos trabalhos de Pinho *et al.* (2012) que procurou evidenciar a estruturação deste sector através de análise distanciada, por vezes, recorrendo a *software* para sobreposição de filtros.

Na Figura 7 apresentam-se os resultados do levantamento e hierarquização do conjunto de lineamentos. Os lineamentos de 1ª ordem são acompanhados pelas trajetórias de clivagem de fratura e xistosidades levantadas junto dos acidentes tectónicos de 1ª e 2ª ordem. Os de primeira ordem fotointerpretados e parcial e localmente confirmados no terreno correspondem a estruturas desenvolvidas em regime dúctil a dúctil-frágil, de D2 a tardi-D3 Variscas e incluem lineamentos interpretados e ocultos, assim como lineamentos cartografados associados a mineralizações hidrotermais. No reconhecimento do terreno identificaram-se indícios de brechas de falha e de esmagamento assim como refrações de estruturas penetrativas. Ocasionalmente, as litologias de falha aí observadas correspondem a cataclasitos e milonitos.

As trajetórias mais penetrativas, especialmente as clivagens de fratura, correspondem a superfícies metamórficas com ordem cronológica $n=1$ a $n=3$ afetadas por cisalhamentos decorrentes de transporte tectónico tangencial a transcorrente.

Na Figura 7 distinguem-se dois conjuntos de lineamentos de 1ª ordem: as estruturas que variam de direção N-S a NW-SE, correspondentes aos alinhamentos precoces correlacionados com D3, e os alinhamentos de direção E-W a NE-SW, correspondentes aos conjuntos de estruturas tardias de acordo com o evidenciado em Leal Gomes (1994) (ver Anexo 1, onde se apresentam separadamente as trajetórias de fratura e xistosidades, os lineamentos de 1ª Ordem e os lineamentos identificados como de 2ª Ordem).

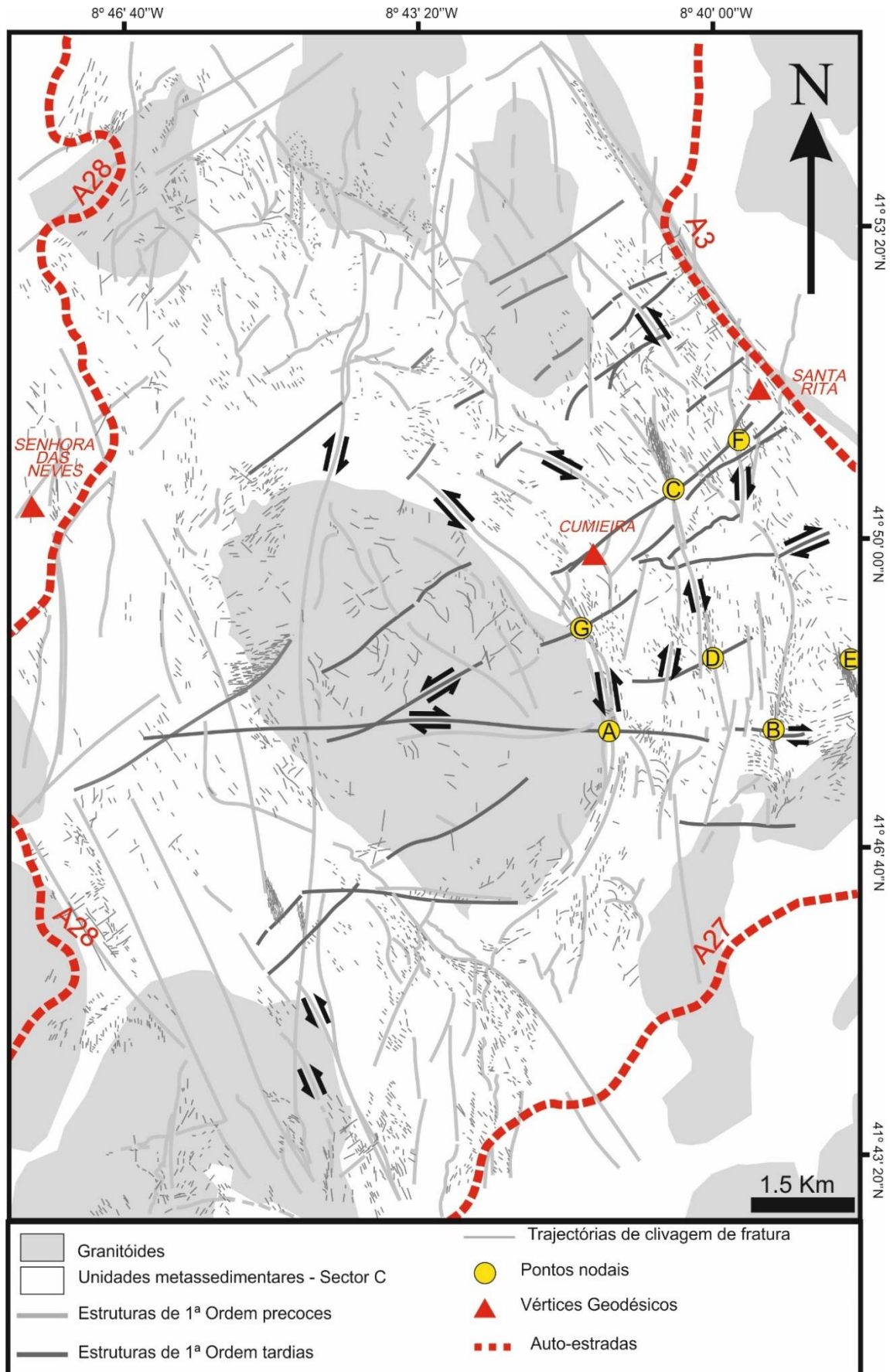


Figura 7: Trajetórias de clivagem de fratura acompanhadas de lineamentos de 1ª Ordem delimitados identificados em fotointerpretação.

A: Água Levada; B: Encruzilhada; C: Picoto do Carvalho; D: Monteiro; E: Porto Vieiro; F: Santa Rita; G: Fulão

No que respeita às trajetórias de clivagem de fratura verifica-se que estas são muito variáveis mostrando contudo uma prevalência de direções que tendem para NW-SE muito modificadas nas proximidades dos maciços graníticos.

A análise e a seleção de pontos nodais com expressão paragenética significativa de associações mineralógicas hidrotermais cingiram-se à vertente Este da Serra de Arga. Tais nodos correspondem a interseções de estruturas cuja evolução atravessou diferentes fases de deformação. Tais nodos correspondem a estruturas previamente analisadas em Leal Gomes (1994) e Dias (2011), pelo que se retomam alguns dados destes trabalhos. Destacam-se as ocorrências de Água Levada, Encruzilhada, Picoto do Carvalho, Monteiro e Porto Vieiro como locais em que as evidências sugerem maior interferência estrutural.

I. 1. 1. Interferência da implantação dos granitos na deformação

Como referido anteriormente a colocação precoce dos granitos de Santo Ovídeo e Covas promove a ocorrência de heterogeneidades na deformação da envolvente da Serra de Arga. Leal Gomes (1994) ilustra a variação das lineações e xistosidades na periferia da Serra de Arga e sustenta que, entre os maciços graníticos de Arga e St^o Ovídeo e Arga e Covas, as lineações S2 se encontram preservadas, o que é interpretado como resultado da diminuição da magnitude da tensão aplicada em sectores protegidos dos episódios de deformação por constituírem zonas de sombra entre maciços graníticos. Na Figura 8 são ilustrados os sectores definidos por Leal Gomes (1994) integrados nos dados recolhidos sobre as trajetórias de clivagem de fratura. Esta divisão reflete a heterogeneidade da deformação em D3, deduzida a partir da disposição das superfícies descritas em Leal Gomes (1994). Distinguem-se:

- Sector A – envolvência dos pontos triplos, onde ocorre essencialmente constricção. Sn encontra-se dobrada mas a transposição S2→S3 é pouco significativa e atípica. Os planos axiais das dobras apresentam atitudes gerais – N20°-30°W/80°-90°. Observa-se crenulação com plano axial, N70°-80°, e inclinação no sentido do plutonito de Arga.
- Sector B – zonas de sombra entre maciços em que a transposição S2→S3 é incipiente; S2 encontra-se dobrada mas sem ocorrer transposição da xistosidade. As direções dos planos axiais das dobras são muito variáveis, notando-se que estão moldadas aos contornos dos plutonitos.
- Sector C – Este sector apresenta forte transposição S2→S3. A atitude da xistosidade é N10°-40°W e a inclinação é essencialmente subvertical, porém nas proximidades do maciço de Arga verifica-se que inclina para o seu interior;

- Sector D – Sector que corresponde a bancadas de referência, definidas como formações competentes, em que se encontram preservadas, nas unidades metassedimentares, metavulcânicas e metassomáticas, algumas estruturas S2, desde que não tenha existido recristalização extensiva; a transposição da xistosidade S2→S3 é incipiente, mas observam-se dobras abertas megaescalares de D3, com planos axiais NW/SE, subverticais.

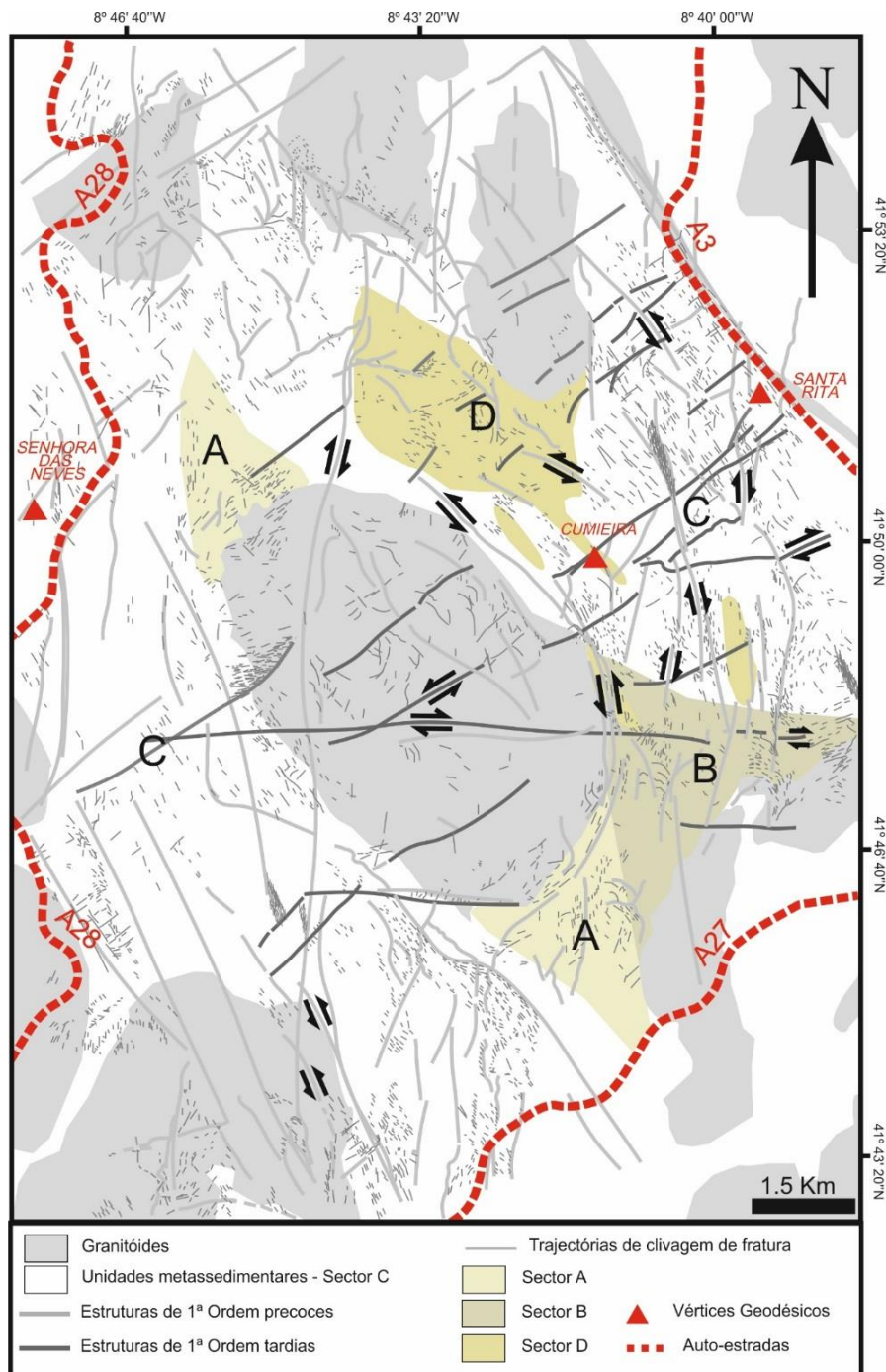


Figura 8: Sectores definidos por Leal Gomes (1994) sobrepostos às lineações definidas na figura 7;

Como é possível observar na Figura 8 existe uma região de sombra em que se encontram preservadas as lineações L2. Esta área correspondente ao sector B apresentado na Figura 8 corresponde ao sector intermédio entre o granito de Arga e o granito de Stº Ovídeo. A localização dos plutonitos graníticos terá permitido a preservação de lineações precoces não permitindo a interferência generalizada das fases de deformação posteriores.

Como já foi referido a transposição da xistosidade S2 para S3 é muito variável em função dos sectores, reflexo da variação dos campos de tensões – D3, principalmente. Numa perspetiva megaescalar também se verificam heterogeneidades típicas do conjunto CAPSA. No sector A os lineamentos apresentam direções concordantes com a bordadura e contorno do granito, essencialmente NW-SE. No sector B os lineamentos mais precoces apresentam direção aproximada de N-S enquanto as evidências de lineamentos tardios apresentam direção essencialmente E-W. O sector C é o sector em que se verifica maior variação de azimutes, desde lineamentos precoces de NW-SE a N-S a lineamentos tardios, maioritariamente NE-SW e, por vezes, E-W. O sector D corresponde à prevalência de “bancadas de referência” (Leal Gomes,1994) e o conjunto de lineamentos levantados é similar ao observado no sector C.

II. 2. Elementos estruturais D2 a Sin-D3

As estruturas na envolvente da Serra de Arga são maioritariamente sin a tardi-D3 contudo os sectores definidos em Leal Gomes (1994) mostram variações entre as instalações de diferenciados em estruturas no sector B e no sector C. No sector B fruto da definição de uma zona de sombra referida em Leal Gomes (1994) surgem filões ou veios que preenchem maioritariamente estruturas D2 enquanto no sector C as estruturas precoces resultam quase exclusivamente dos esforços produzidos em D3.

II. 2. 1. Elementos estruturais no Sector B

II. 2. 1. 1. O caso paradigmático do pegmatito do Lourinhal

Como referido anteriormente o sector B corresponde a uma zona de sombra relativamente à deformação imposta na 3ª fase de deformação Varisca. Esta região apresenta preservadas as lineações L2 que noutros sectores foram obliteradas pela deformação sobreposta decorrente da 3ª fase de deformação Varisca. Nesta região, S2 apresenta-se dobrada mas sem transposição da xistosidade, as

direções dos planos axiais das dobras são variáveis estando moldadas aos contornos dos plutonitos e as inclinações são sub-verticais.

Na Figura 9 ilustra-se a estruturação que se do sector B mostrando as unidades poligénicas parautoctones ou alóctones da envolvente de Arga, definidas em Leal Gomes (2008), intruídas pelo maciço granítico de Santo Ovídeo e os enxames pegmatíticos existentes. Destaca-se ainda numa perspetiva litológica a ocorrência de zonas de mistura relacionadas com o granito de Santo Ovídeo. Numa perspetiva cinemática esta região caracteriza-se por desmembramento de terrenos, deformação tangencial, achatamento e transcorrência.

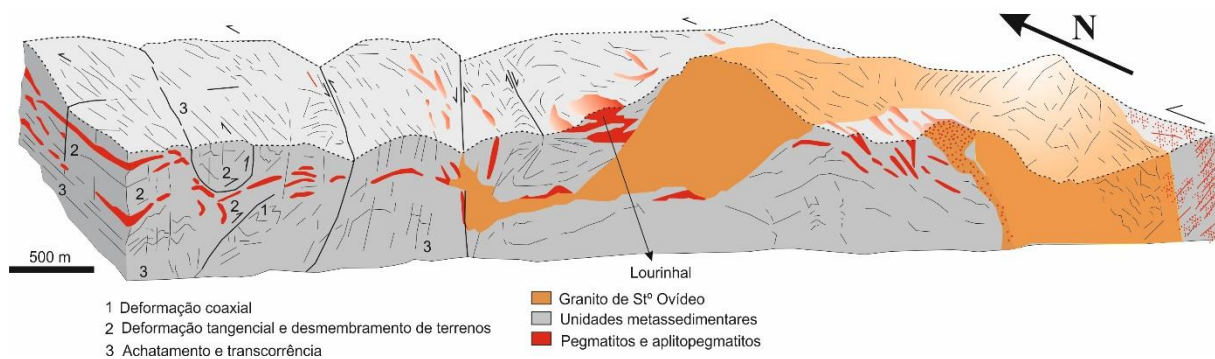


Figura 9: Esquema generalista da área entre o maciço de Santo Ovídeo e o maciço de Arga, correlacionável com o sector B definido por Leal Gomes (1994)

Salienta-se a ocorrência dos pegmatitos do Lourinhal enraizados no granito de Stº Ovídeo (Leal Gomes, 1994). Na região envolvente do Lourinhal abundam filões de quartzo, de segregações metamórficas e também hidrotermais tardios. O conjunto de indicadores geométricos recolhidos permitiu interpretar a estruturação do pegmatito do Lourinhal como resposta a um mecanismo de ascensão helicoidal de acordo com o modelo apresentado na Figura 10).

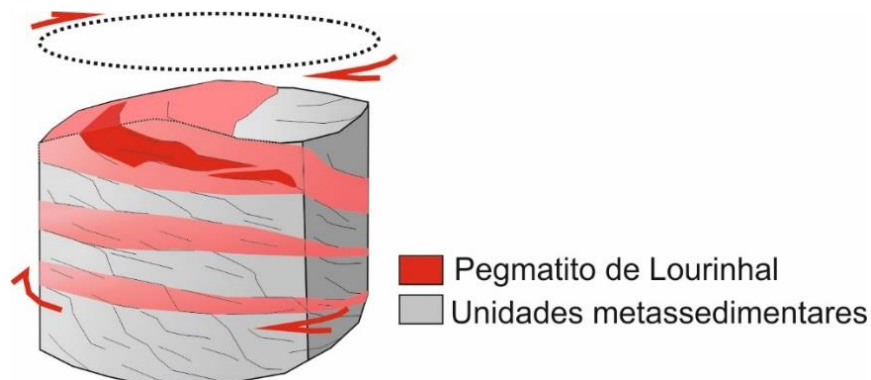


Figura 10: Modelo de instalação do pegmatito do Lourinhal aproveitando estruturas D2.

Leal Gomes (1994) relaciona o mecanismo ascensional do pegmatito do Lourinhal com a delaminação apical numa zona de sombra. O pegmatito do Lourinhal é um pegmatito zonado com

fosfatos e mineralizações de berílio que aproveita as estruturas D2 no processo de instalação, preservadas no sector B. Assim sendo o facto de esta região estar sujeita a menor deformação pela D3 terá facilitado a ascensão do pegmatito em estruturas precoces da fase D2.

II. 2. 1. 2. Extravasamento e implantação lateral do plutonito de Arga em estruturas de D2

No decurso da análise geométrica da vertente Este da Serra de Arga, uma apófise horizontal do granito de Arga na região de Alto do Cavalinho descrita e cartografada em Leal Gomes (1994) como apófise laminar de desenvolvimento sub-horizontal, mostrou fluidalidades planares sub-horizontais. A muro verifica-se ainda que a apófise inclina suavemente no sentido do interior do maciço.

Leal Gomes (1994) interpreta esta apófise como extravasamento para E sucedâneo da expansão lateral do plutonito da Serra de Arga, que induz no encaixante dobras de arrasto de S2, com vergência para Este, evidência de injeção localizada e pontual. A apófise assenta sobre bancadas de referência do sector D, quartzíticas e quartzofílicas, sobre as quais se operou o extravasamento para E. Na figura 11 apresentam-se os resultados da fotointerpretação. Na figura 11 A é apresentada a imagem inicial a partir da qual se realizou a fotointerpretação. Na figura 11 B é delimitado o conjunto de contrastes de fase e a estruturação que evidenciam a apófise.

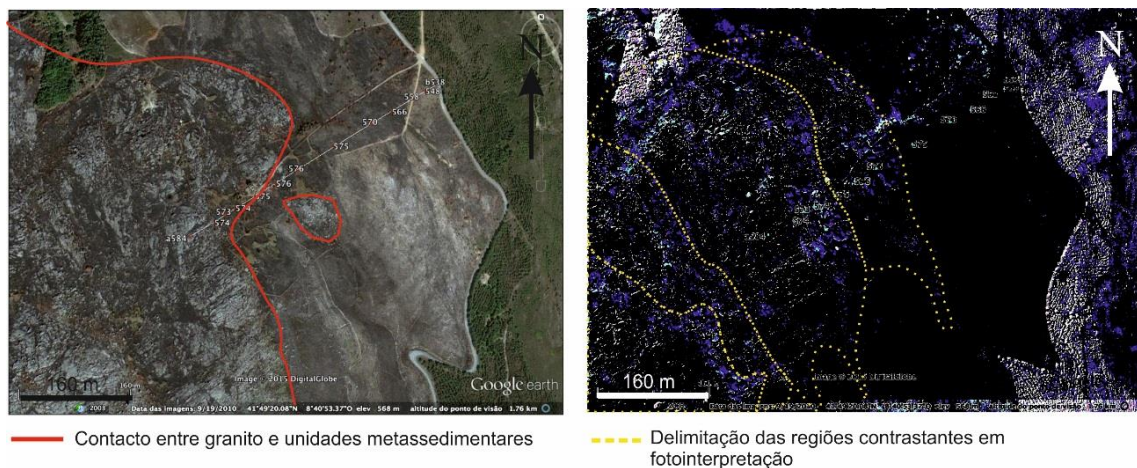


Figura 11: Apófise granítica do maciço da Serra de Arga na região de Alto do Cavalinho; Evidências de fenómenos de delaminação extrapolados através de fotointerpretação.

A fotointerpretação em análise distanciada sugere a existência de litofácies contrastantes no plutonito que possivelmente aproveitam estruturas precoces D2 durante o processo de instalação no decorrer da 3ª fase de deformação Varisca mas ocorre em condições de delaminação durante o processo de extravasamento lateral do plutonito. Na região de Alto do Cavalinho verifica-se ainda, no contacto entre

o maciço granítico da Serra de Arga e as unidades encaixantes essencialmente metassedimentares, a ocorrência de turmalinito (Dias, 2011).

II. 2. 2. Elementos estruturais do Sector C

No sector C as atitudes das estruturas e os pegmatitos que as preenchem situam-se entre N-S a NW-SE (Figura 7). Neste contexto verifica-se a ocorrência de estruturas reativadas por deformação e preenchidas com frações aplito-pegmatíticas tardias e hidrotermais.

II. 2. 2. 1 Zona de cisalhamento Argas-Cerquido

A zona de cisalhamento Argas-Cerquido corresponde à estrutura mestra do duplex peri-diapírico definido por Leal Gomes (1994). A abordagem cartográfica simplificada do duplex é ilustrada na Figura 12. A zona de cisalhamento Argas-Cerquido é uma zona de cisalhamento polifásico de direção geral NW-SE que se acompanha a bordadura do maciço de Arga. Este corredor desenvolve-se a partir da reativação de estruturas em *cone-sheet* aplito-pegmatíticas.

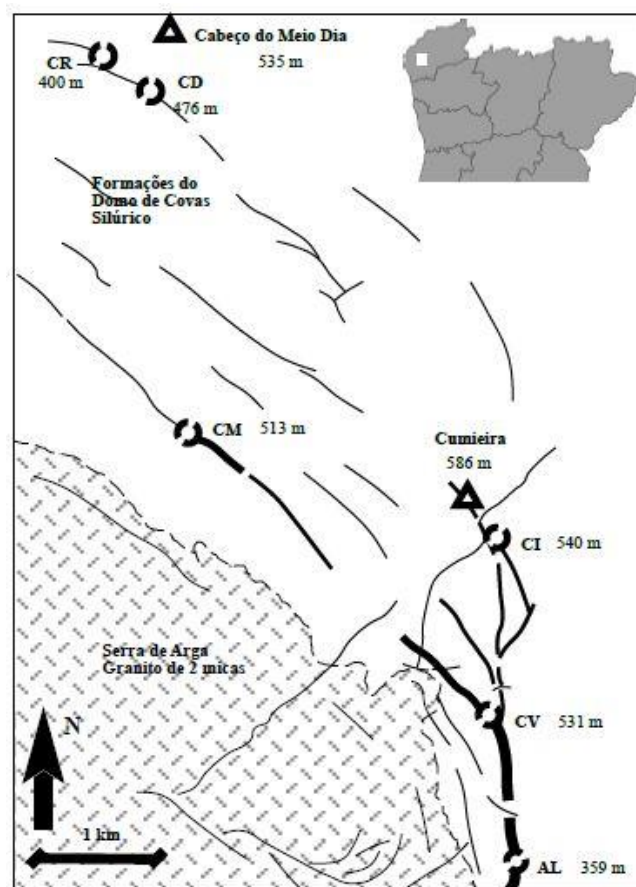


Figura 12: Configuração cartográfica das zonas de cisalhamento principais do duplex oriental da Serra de Arga (corredor de cisalhamento de Argas - Cerquido) e localização de amostras alvo de análise paragenética: CR – Cerdeirinha e Telheira; CD – Cabeço do Meio Dia; CM – Cova dos Mouros e Fichua; CI – Cumieira; CV - Cavalinho; AL – Água Levada.

Os aplito-pegmatitos apresentam-se localmente milonitizados, salientando-se a ocorrência de alguns veios transversais de quartzo, dilatacionais e transversais que ocorrem preferencialmente em rochas encaixantes competentes tais como aplito-pegmatitos e rochas de componente psamítica.

Relíquias de *cone-sheets* pegmatoides apresentam-se boudinados, com geometrias c/s internas de venulações dilatacionais, compatíveis com cisalhamento sinestrógiro, da mesma forma que o são as ruturas de Riedel preenchidas que se definem nos liditos também competentes. As diferentes paragêneses tardias e suas gerações sobrepõem-se dando lugar a veios estruturalmente complexos com quartzo de diferentes texturas e disseminações ou massas de sulfuretos.

O duplex (estrutura em flor positiva) descrito em Leal Gomes (1994) corresponde ao conjunto de estruturas que retomam os *cone-sheets* formulados no decorrer da implantação do plutonito de Arga, aproveitando estruturas de cavalgamento D2. A zona de cisalhamento mestra dispõe-se ao longo de formações competentes quartzíticas e quartzofílicas, brechificadas, com cimento quartzoso mineralizado. Nas formações menos competentes como micaxistos, metagrauvaques, metavulcanitos e xistos negros, surgem ao longo dos mesmos corredores deformacionais estruturas *crack-seal*/bandadas com diferentes gerações de quartzo.

Na Figura 13 procura-se resumir a variabilidade de litologias de cisalhamento identificadas no lineamento Argas-Cerquido a nível mesoscópico. Tratam-se de brechas de falha e de esmagamento em liditos que apresentam sucessivas silicificações e deposições de sulfuretos, assim como, associações pegmatoides exibindo fluidalidades internas, deformados em regime dúctil por F3, as quais mostram ruturas dilatacionais transversas, preenchidas por quartzo e arsenopirite.

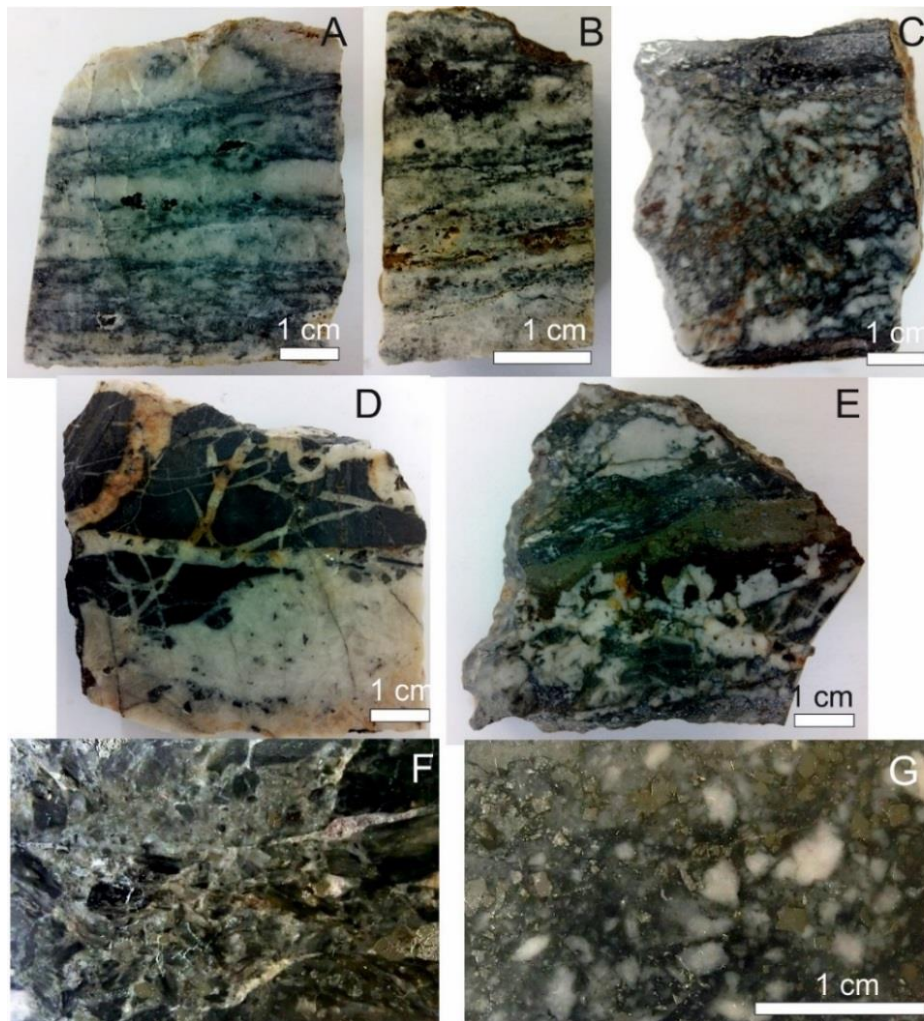


Figura 13: Diferentes ambientes das estruturas de Argas-Cerquido. 6-A: *crack seal* com deposição de blenda em acolhimentos dilatacionais; 6-B: *crack seal* com arsenopirite scoroditizada; 6-C: ambiente típico da deposição em Água Levada, destaca-se um nível de galena junto às unidades filíticas; 6-D: ruturas em unidades filíticas preenchidas por quartzo; 6-E: leitos de pirite, blenda e galena em ganga quartzosa; 6-F: brecha com fluorite tardia a preencher ruptura dilatacional; 6-G: brecha de esmagamento com deposição de quartzo e sulfuretos.

II. 2. 2. 2. Zona de cisalhamento Mãos-Fisga

O corredor de cisalhamento Mãos-Ribeira da Fisga corresponde a um cisalhamento de azimute médio N30°W, com veios dilatacionais sub-paralelos de direção N70°-90°E/sub-verticais constituídos essencialmente por quartzo por vezes associado a volframite. Segundo Leal Gomes (1994) alguns correspondem a veios dilatacionais com crustificação interna decorrente de *telescoping*. O corredor está limitado por falhas que grosseiramente apresentam atitude N20°-40°W/sub-verticais. Ocorrem, pontualmente, enchimentos dilatacionais aplito-pegmatíticos como evidenciado na Figura 14, nos quais ocorre deposição de arsenopirite em ruturas com preenchimento de arsenopirite (14-A) ou com deposição de arsenopirite em microssítios de carácter dilatacional controlados por microruturas que

controlam a orientação das arsenopirites (14-B). De registar, ainda, a existência de auréolas de alteração no contacto entre os sulfuretos e o encaixante aplito-pegmatítico.

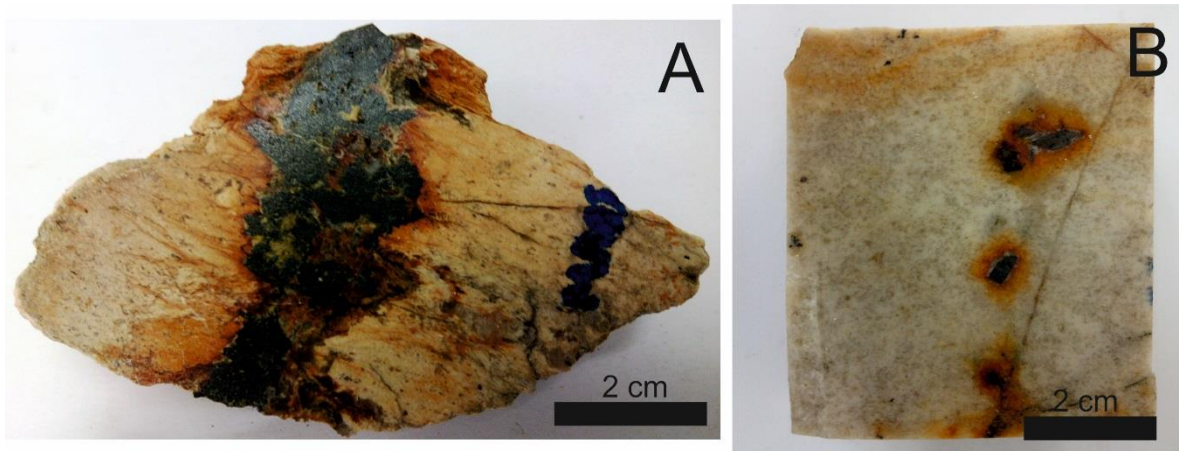


Figura 14: Fases aplito-pegmatíticas com arsenopirite. A: Veio de arsenopirite maciça a preencher rutura em aplito-pegmatito; B: Arsenopirites automórficas em aplito-pegmatito com auréola de alteração.

A Figura 14 apresenta dois estádios de deposição de sulfuretos em ruturas que podem constituir duas etapas de desenvolvimento do mesmo fenómeno de deposição. A Figura A corresponde a alojamento de sulfidização sob a forma de arsenopirite maciça em aplito. No que diz respeito a B onde a sulfidização é pontual e vizinha de microruturas que albergam veios de quartzo muito finos. As diferenças podem justificar-se pela distinta competência dos litótipos encaixantes e pela existência de microambientes de deposição que permitem heterogeneidades na deformação.

II. 2. 2. 3. Zonas de cisalhamento de Picoto do Carvalho

O corredor de cisalhamento de Picoto do Carvalho inclui um conjunto de estruturas sub-paralelas caracterizadas por cisalhamentos simples com componente sinestrógiro e de direção N30° - 40°W. As unidades metassedimentares apresentam forte transposição S2→S3 e a xistosidade apresenta direção de plano axial N32°W.

O afloramento analisado apresenta uma estrutura com cerca de 5 metros de possança correspondente a um corredor com evidências de deformação em regime dúctil a dúctil-frágil. Ocorrem, na caixa de cisalhamento, aplito-pegmatitos sub-paralelos ao corredor que se apresentam deformados com intensidade variável, por vezes *boudinados*. Os corredores estão limitados por falhas com componente sinestrógiro e apresentam enchimento argiloso, por vezes, quartzoso, sub-granulado. A sequência litológica transversal à caixa de falha é constituída por xisto com blastos de cordierite pós-

andaluzite, quartzito, quartzofilito cataclástico, *greisen*, cataclasito aplitopegmatítico e micaxisto com leitos quartzofílicos. Verificaram-se ainda unidades quartzíticas inseridas no *greisen*. Na Figura 15 é apresentado o esquema geral do corredor analisado em Picoto do Carvalho.

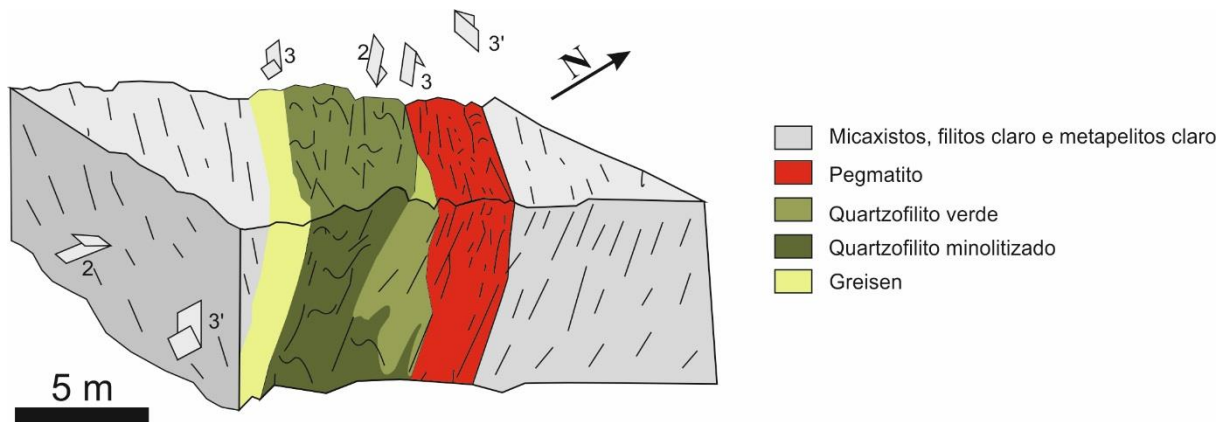


Figura 15: Esquema ilustrativo da zona de cisalhamento de Picoto do Carvalho; Verificam-se regiões de intensa deformação em que as unidades ocorrem milonitizadas;

II. 2. 2. 2. Ocorrência de Porto Vieiro

Na Serra do Formigoso, verificou-se em Porto Vieiro a existência de uma faixa de intensa deformação com indícios de transição entre catáclase a milonitização. Na Figura 16 apresenta-se o conjunto de evidências texturais de transição progressiva entre deformação cataclástica e milonítica na transição dúctil-frágil do regime de deformação.

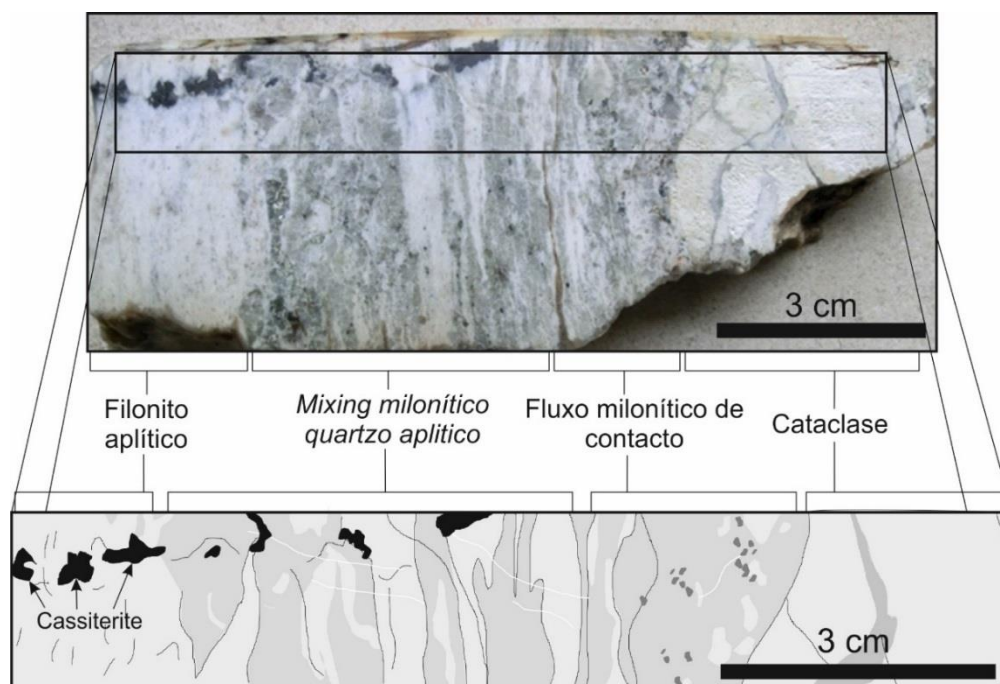


Figura 16: Evidências de deformação progressiva de fluxo cataclástico a milonítico D2-D3, fraturadas em D4

A cassiterite estática ocorre intercetando a associação milonítica precoce em spots blásticos associados a microruturas tardias. Apresenta textura em rosácea e em *snow-ball*.

II. 3. Elementos estruturais de alinhamentos tardi-D3 (D3').

Como referido anteriormente, os alinhamentos tardios apresentam direção principal NE-SW a E-W e, neste contexto, salienta-se a ocorrência de uma estrutura que interceta Encruzilhada e Água Levada assumindo uma direção aproximada de E-W.

Este lineamento representa uma estrutura preenchida quase exclusivamente por arsenopirite sendo de notar a ausência total de quartzo em amostra de mão. Numa perspetiva textural esta estrutura apresenta arsenopirite maciça por vezes fraturada, não se verificando a ocorrência de outras fases minerais Figura.

O encaixante corresponde a unidades filíticas em que se verifica a ocorrência de arsenopirite disseminada automórfica por vezes marcando dobramentos. Verificaram-se bandas "kink" neste ambiente que apresentam atitude $N38^\circ$ /vertical. Os veios apresentam indícios de deslocamento ocorrendo, por vezes, recristalização de arsenopirite em microssítios dilatacionais. Verifica-se transposição de $S2 \rightarrow S3$ e as lineações apresentam atitude $N16^\circ W/72^\circ W$.

Como se pode verificar pela análise da Figura 17 as unidades encaixantes deste lineamento apresentam arsenopirite disseminada. A arsenopirite ocorre como marcador da deformação observando-se blastos de arsenopirite a marcar o dobramento. É também frequente arsenopirite automórfica nestas unidades.

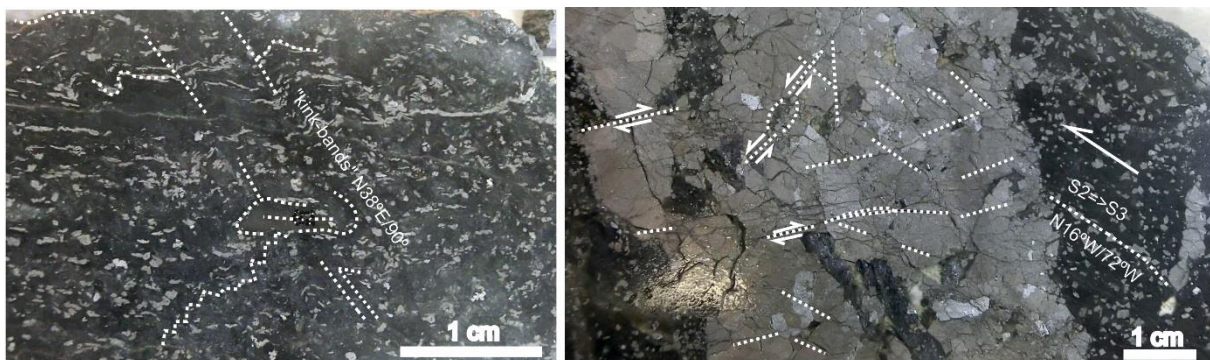


Figura 17: Ambiente de deposição do alinhamento E-W

Verificando-se a abundância de sulfuretos disseminados nas unidades filíticas encaixantes, considera-se a remobilização destes sulfuretos por ação de fluidos hidrotermais para ruturas como a

melhor hipótese sobre a origem dos veios de arsenopirite maciça. Os fluidos terão destabilizado a arsenopirite presente no encaixante permitindo a mobilização desde o encaixante até à rutura que acolhe os fluidos. Na Figura 18 apresentam-se indícios de processos de remobilização de sulfuretos que ficaram preservados na proximidade do veio de arsenopirite. Na Figura 18 observa-se a ocorrência de três modos de deposição de arsenopirite distintos. A fase inicial corresponderá a arsenopirite automórfica, podendo por vezes acompanhar a deformação em localizações onde a deformação terá sido mais intensa. Por sua vez, a fase intermédia corresponde a arsenopirite fina frequentemente disposta segundo lineações paralelas ao à estrutura em que é focada a mineralização. A última fase corresponderá a ocorrências de arsenopirite maciça na estrutura de acolhimento dos fluidos.

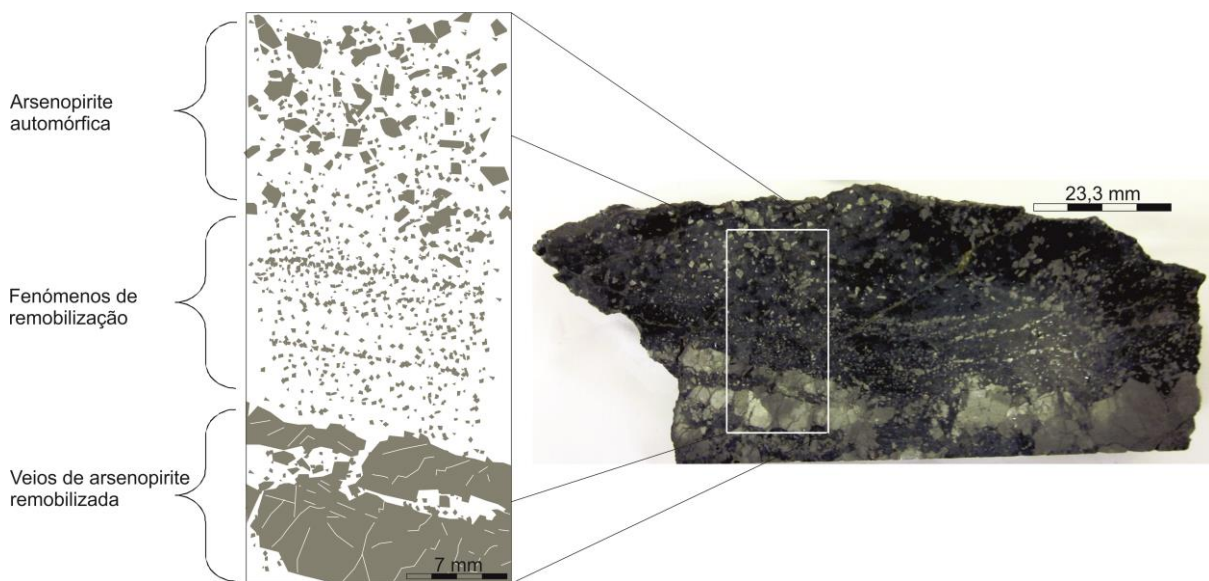


Figura 18: Discriminação de arsenopirite em modos de deposição distintos no contacto entre o veio de arsenopirite e as unidades encaixantes.

Os diferentes ambientes de deposição de arsenopirite evidenciados na Figura 18 podem resultar da conservação do processo de remobilização de sulfuretos para o encaixante, correspondendo à fase intermédia, ao estágio intermédio de mobilização de sulfuretos em que a arsenopirite ocorre fina e disposta em leitos paralelos à estrutura.

Capítulo III

Mineralizações hidrotermais associadas a estruturas de cisalhamento

III. 1. Petrologia de minérios

As mineralizações hidrotermais mais diversificadas do ponto de vista paragenético ocorrem na zona de cisalhamento Argas-Cerquido e na estrutura tardia de direção E-W que ocorre entre Encruzilhada e Água Levada. Apresenta-se uma análise comparativa destas estruturas que permitiu comparar as mineralizações alojadas em D3 com outras caracteristicamente mais tardias, procurando também obter dados sobre reposicionamentos das mineralizações auríferas entre as estruturas.

III. 1. 1. Zona de cisalhamento Argas – Cerquido

A zona de cisalhamento Argas-Cerquido, estrutura mestra do duplex descrito em Leal Gomes (1992) apresenta diversos episódios de deposição relacionados com as reativações deformacionais que ocorreram na estrutura. A variação paragenética ao longo do cisalhamento Argas-Cerquido é descrita em Leal Gomes (1992) e retomada neste trabalho procurando sempre que possível complementar os dados pré-existentes com novos resultados.

III. 1. 1. 1 Caracterização das estações

Nesta estrutura as estações alvo de análise paragenética foram, de Sul para Norte, a estação de Cerquido (Bouça do Abade), Água Levada, Cavalinho e Fulão.

Estação – Cerquido

A paragénese em Cerquido é controlada por estruturação em *crack-seal*, com leitos de quartzo e arsenopirite associada frequentemente a deposições de blenda em microambientes dilatacionais. As unidades de quartzo apresentam por vezes arsenopirite automórfica e ruturas preenchidas por calcopirite. As unidades maioritariamente compostas por arsenopirite e sucedaneamente pirite apresentam-se muito fraturadas com preenchimentos de blenda e galena.

A deposição de blenda parece estar relacionada com um episódio de deformação responsável pela compartimentação da arsenopirite, ocorrendo por vezes com pequenos cristais de arsenopirite com cáries preenchidas por blenda, verificando-se também a existência de exsoluções de calcopirite. A blenda que preenche as ruturas da arsenopirite está frequentemente relacionada com a precipitação de electrum nestas fraturas.

A galena ocorre majoritariamente a preencher ruturas de arsenopirite, precipitando por vezes partículas de electrum no contacto com a arsenopirite. Verificou-se ainda a existência de partículas de Bi inclusas na galena.

Estação - Água Levada

Água Levada é o exemplo que apresenta maior diversidade de conteúdos paragenéticos e texturais das estações em estudo. Neste local a convergência dos cisalhamentos associada à maior profundidade permitiu que em regime dúctil a dúctil frágil (Capítulo III) se reunissem as condições favoráveis à precipitação de mineralizações de diferentes fluidos hidrotermais.

As relações paragenéticas do estudo realizado em Água Levada evidenciam esta complexidade. As fases mais precoces da paragénesis de Água Levada correspondem a mineralizações de arsenopirite e pirite. A arsenopirite corresponde nesta estação à primeira fase de mineralização apresentando por vezes inclusões de Au. A primeira geração de arsenopirite apresenta-se muito fraturada, e por vezes com indícios de milonitização. Registaram-se duas gerações posteriores de arsenopirite, uma sincrónica da precipitação de pirite e outra tardia remobilizada por ação do fluido que precipitou as fases zincíferas.

A galena entra no sistema preenchendo ruturas da arsenopirite associada com frequência a partículas de electrum, verificando-se ainda o preenchimento de golfos de dissolução de pirite.

A blenda ocorre frequentemente como matriz, preenchendo ruturas e nodos dilatacionais, principalmente em arsenopirites, é frequente a exsolução de calcopirite assim como a ocorrência de arsenopirite, muito fina, por vezes careada e acompanhada de electrum.

Estação - Cavalinho

A paragénesis em Cavalinho revela abundante volframite que motivou no passado a atividade extrativa neste local. A volframite ocorre majoritariamente intercrescida com quartzo associada a unidades com arsenopirite. Observaram-se em amostras recolhidas em escombreira leitões de blenda. É frequente nesta estação a ocorrência de calcopirite a preencher fraturas de quartzo. A galena ocorre em fenómenos tardios de preenchimento de ruturas por vezes precipitando electrum nos contactos com a arsenopirite.

III. 1. 1. 3. Análise paragenética

Em síntese, do conjunto de superfícies analisadas salientam-se as seguintes situações paragenéticas:

- a primeira geração de mineralizações verificada corresponde a episódios de sincristalização de quartzo com arsenopirite e volframite;
- verifica-se a existência de uma segunda geração de arsenopirite com inclusões de Au nativo e contemporânea das inclusões de pirrotite que se verificam na pirite;
- a pirite precipita posteriormente à arsenopirite, por vezes ocorrem pirites de pequenas dimensões, automórficas, em ruturas transtensivas da arsenopirite;
- a galena ocorre em ruturas de arsenopirite associada a precipitação de electrum;
- a galena apresenta frequentemente inclusões de Bi, geralmente partículas heterogêneas com fases de Bi nativo e fases de bismutinite intercrescidas nas estações de maior cota, não se tendo verificado em Água Levada;
- a blenda apresenta exsoluções de calcopirite, por vezes as exsoluções apresentam cubanite aureolada por calcopirite;
- verificou-se a ocorrência de relíquias de arsenopirite muito fina, careada, por vezes acompanhada de electrum e galena em blenda;
- a galena ocorre frequentemente na bordadura dos cristais de arsenopirite, frequentemente alterada para anglesite;
- a blenda ocorre em ruturas de arsenopirite, por vezes associada a precipitação de electrum;
- verificou-se sistematicamente electrum a limitar a entrada de blenda nas ruturas de arsenopirite;
- a presença de bismutite, bornite, scorodite e goethite está relacionada com alteração de minerais primários;

Na estação de Água Levada em oposição às restantes estações do cisalhamento Argas-Cerquido não se verificou em microscopia ótica de luz refletida a ocorrência de exsoluções de Bi em galena, no entanto em microscopia eletrónica de varrimento foi possível detetar esta ocorrência. As partículas de galena surgem em matriz de blenda e apresentam exsoluções de Bi. Foram detetadas na mesma partícula de blenda duas fases distintas de associações minerais entre Pb, Bi e Ag. Na Figura 19-A apresenta-se uma partícula de galena com prata reticular que apresenta inclusões de Bi, no entanto na Figura 19-B a prata ocorre associada à fase de bismuto.

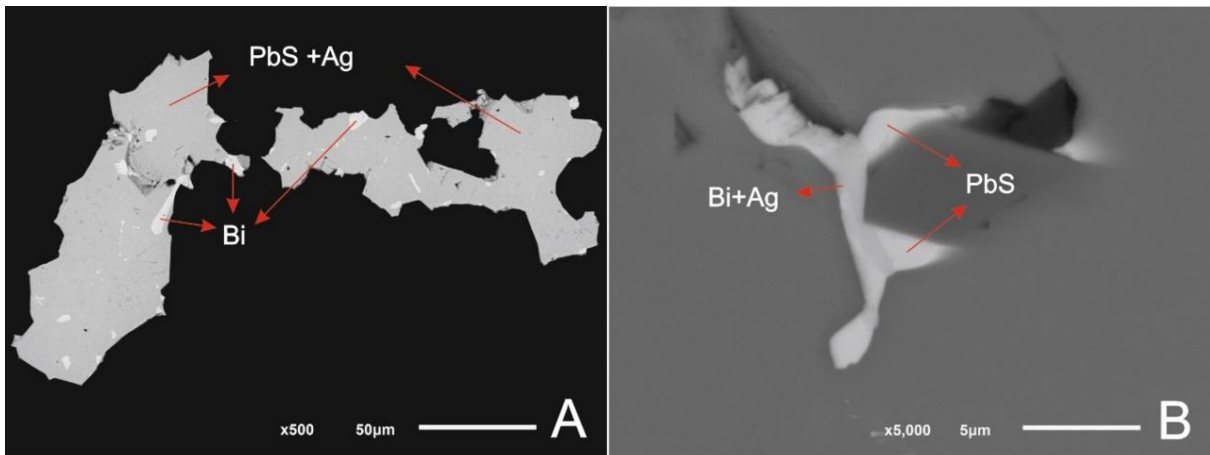


Figura 19: Diferentes estádios de associações mineraloquímicas entre Pb, Ag e Bi.

Os preenchimentos de galena apresentam-se por vezes associados a electrum. Além do conjunto de aspetos apresentados verificou-se a ocorrência de auréolas nos contactos de galena com as partículas de electrum como se pode verificar na Figura 20.

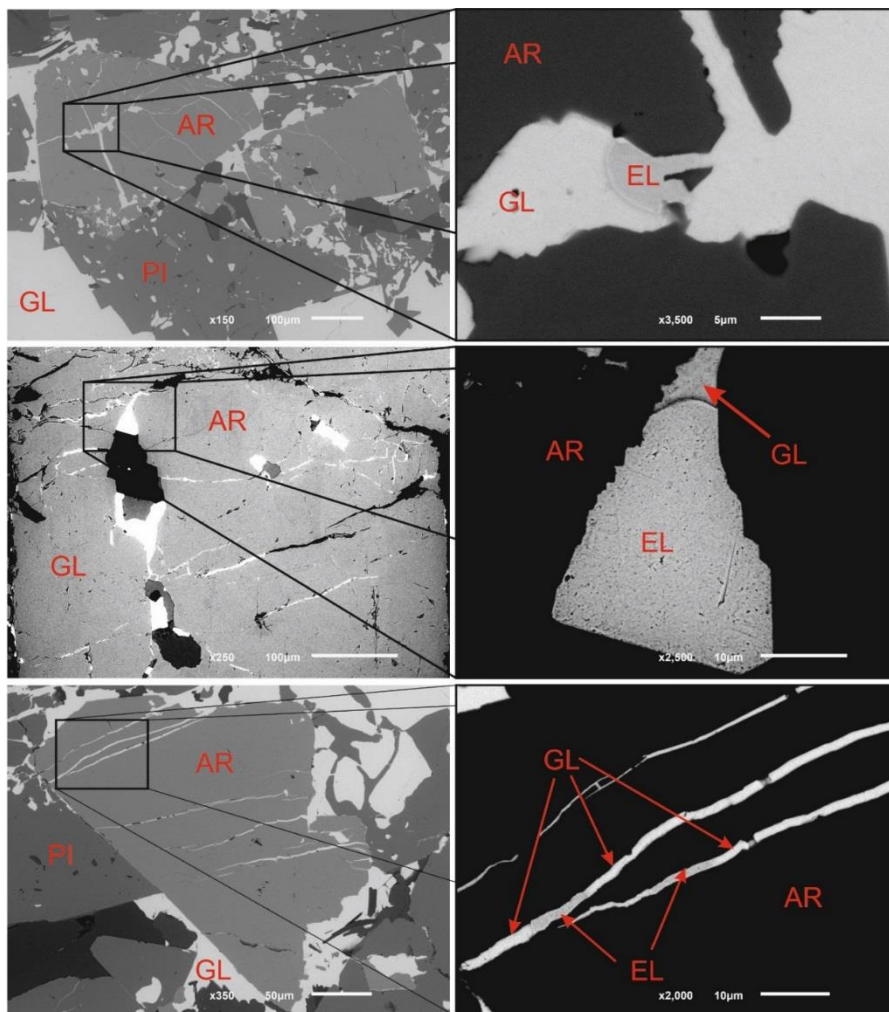


Figura 20: Auréolas no contacto entre electrum e galena.

No Quadro 4 apresenta-se a síntese da paragéneses das diversas estações do cisalhamento Argas-Cerquido. Neste quadro são integrados todos os dados de carácter paragenético recolhidos na estrutura, evidenciando os episódios de deposição (E.D.) e as mineralizações características de cada. Verifica-se que a ocorrência de Au, quer nativo, quer sob a forma de compósitos de Au e Ag, ocorre nas principais etapas de deposição verificando-se Au nativo associado a Arsenopirite, e electrum associado à fase de mineralização de blenda e posteriormente de galena.

Mineral	1ª E. D.	2ª E. D.	3ª E. D.	4ª E. D.	5ª E. D.	6ª E. D.	Alt. Superg.
Quartzo	■						
Volframite	■						
Arsenopirite	■	■					
Pirrotite		■					
Pirite			■				
Au nativo		■					
Blenda				■			
Cubanite				■			
Calcopirite				■			
Galena					■		
Bi nativo					■		
Bismutinite					■		
Electrum					■		
Prata dour.					■		
Bismutite							■
Clorite						■	
Fluorite						■	
Carbonatos						■	
Bornite							■
Scorodite							■
Goethite							■
Min. principal	VF	AR	PI	BL	GL	CL	

Quadro 4: Quadro paragenético da zona de cisalhamento Argas-Cerquido.

III. 1. 1. 4. Fases de mineralização no cisalhamento Argas-Cerquido

Com base nas análises paragenéticas realizadas nas estações da zona de cisalhamento Argas-Cerquido foi possível discriminar as etapas deposicionais que ocorreram nesta estrutura. O conjunto de análises das mineralizações hidrotermais permitiu distinguir o conjunto de episódios de deposição adaptando as fases de deposição descritos em Leal Gomes (1992). Estes dados são apresentados no Quadro 5. Especialmente a paragéneses torna-se mais complexa na região de confluência das estruturas de cisalhamento a Sul e em profundidade, o que terá permitido a migração de fluidos que veicularam as mineralizações. Numa perspectiva cronológica regista-se a importância da arsenopirite a acomodar a

deformação o que posteriormente permite o preenchimento de ruturas em que depositam as mineralizações de galena associadas a electrum.

Assim como se verificou previamente, em que a arsenopirite permitiu obter dados sobre os episódios de deformação na análise paragenética o facto de a arsenopirite ser tão precoce associado à suscetibilidade a ser deformada permite registar a interação dos fluidos e processos de deformação. É possível verificar que as fases apresentadas no quadro 5 não ocorrem em todas as estações realizadas, contudo a análise paragenética permite integrar esta informação ao longo da estrutura estabelecendo assim as fases apresentadas.

Fases	Mineralização	Mineral Indicador	Associação Paragenética
1	Fe, As, W	Volframite	Volframite + Arsenopirite + Quartzo
2	Fe, As, Au	Arsenopirite	Arsenopirite + Pirite + Pirrotite + Au nativo
3	Fe, As	Pirite	Pirite + Arsenopirite
4	Zn, Fe, Cu, As, Au, Ag	Blenda	Blenda + Calcopirite+ electrum
5	Pb, Bi, Cu, Ag, Au	Galena	Galena + Bi nativo + electrum+ calcopirite+ sulfossais

Quadro 5:Fases de mineralização da zona de cisalhamento Argas-Cerquido

Fase 1 - Mineralização principal – Volframite

Entre os primeiros fenómenos de deposição destaca-se a existência do evento responsável pela precipitação de volframite associada com unidades de arsenopirite e quartzo. Esta fase de mineralização parece ocorrer maioritariamente nas amostras de estações localizadas a maior cota, não tendo sido observada nas amostras de Água Levada.

Fase 2 – Mineralização principal – Arsenopirite

A arsenopirite é a mineralização mais abundante em toda a estrutura e também a que está relacionada com as fases de deposição principais. A arsenopirite desta fase deposicional apresenta-se muito fraturada pelos episódios de deformação a que esteve sujeita. Pontualmente verificam-se inclusões de Au de pequenas dimensões, as ruturas estão preenchidas com blenda e galena principalmente porém verifica-se por vezes a ocorrência de pirite automórfica nas ruturas em ganga quartzosa.

Fase 3 – Mineralização principal – Pirite

A pirite evoluiu em diversas fases de deposição, no entanto salienta-se a existência de uma fase em que este mineral é preponderante. A pirite ocorre posteriormente à arsenopirite recristalizando por

vezes em zonas de transição do campo de tensões. A pirite ocorre frequentemente com relíquias de pirrotite e por vezes com cáries preenchidas por galena.

Fase 4 - Mineralização principal – Blenda

As ocorrências de blenda resultam de uma das fases mais tardias de deposição e ocupam geralmente espaços dilatacionais de regiões perturbadas pela deformação, existindo também fenômenos de preenchimento de ruturas de arsenopirite em que por vezes ocorre associada a electrum.

Nas amostras provenientes da mina de Água Levada verificou-se com frequência a ocorrência de *chalcopyrite disease* (Figura 21). Na Figura 21-A apresenta-se a textura do fenómeno de exsolução de calcopirite em blenda, por vezes apresentando lineações das partículas de calcopirite, em zona de perturbação de arsenopirite primordial. A Figura 21-B demonstra além de calcopirite sob a forma de exsoluções, a existência de arsenopirites automórficas, destacando-se ainda a presença de calcopirite sob a forma de exsoluções e a preencher ruturas. Na Figura 21-C regista-se a ocorrência de cubanite ($CuFe_2S_3$) em equilíbrio com calcopirite. Na Figura 21-D comprova-se a ocorrência de electrum em arsenopirite em matriz de blenda.

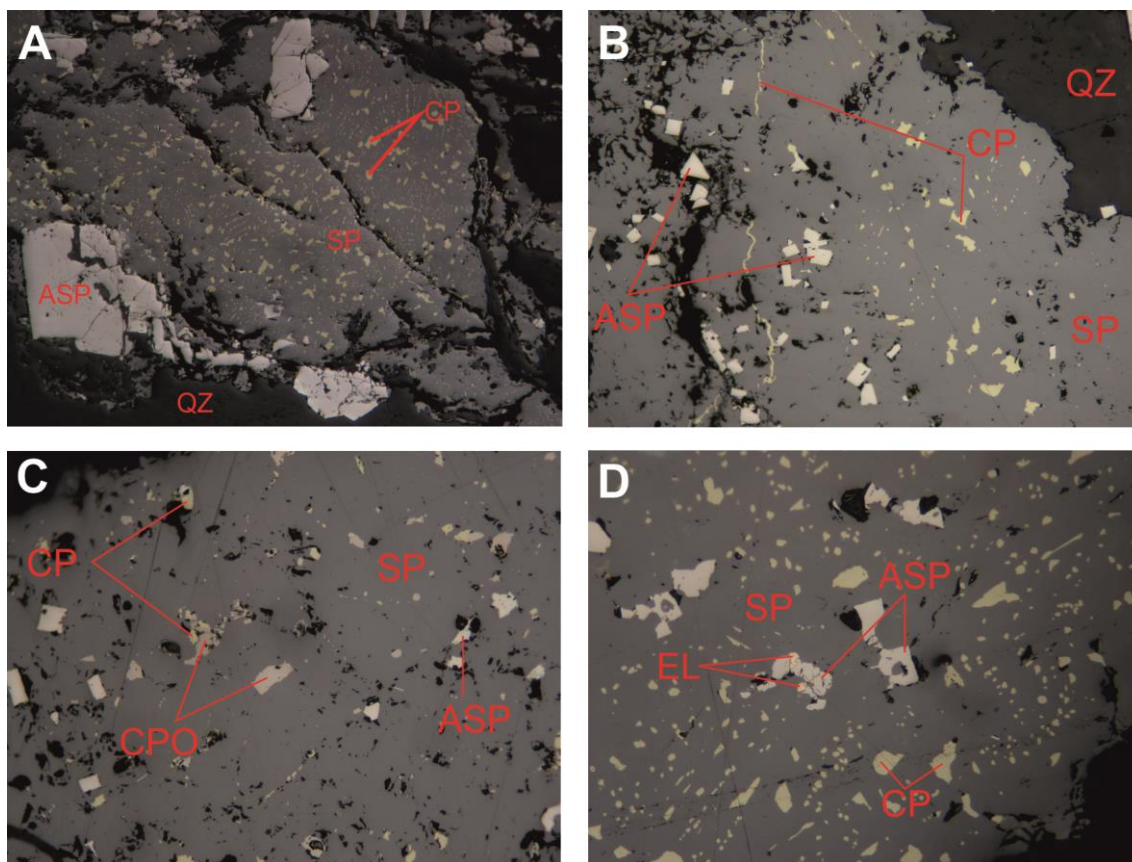


Figura 21: Exsoluções de calcopirite em blenda

Estes resultados demonstram a importância do fenômeno de *chalcopyrite disease* na paragénesis de Água Levada, registrando distintas etapas de deposição de mineralização. A arsenopirite precoce terá permitido a ação de um fluido zincífero com Cu reticular, que em regime *subsolidus* terá permitido a exsolução de calcopirite. O episódio de migração de calcopirite para ruturas registrado em 21-B constituirá um dos episódios mais tardios da deposição e será contemporânea dos preenchimentos de ruturas de arsenopirite com calcopirite.

Verificou-se ainda em mesoescala a existência de duas fases de blenda contudo verificou-se que em microscopia o fator que diferencia as duas fases é a presença de arsenopirite muito fina. Analisaram-se as duas fases em SEM e os resultados demonstram que as duas fases são semelhantes apresentando composições idênticas de Fe.

Fase 5 – Mineralização principal – Galena

O fluido que permitiu a precipitação de galena corresponde ao episódio que permite a precipitação de electrum nas ruturas. A galena ocorre preenchendo ruturas principalmente em arsenopirite, salientando-se, no entanto, a existência de ruturas preenchidas por galena em blenda o que revela a existência de uma fase tardia desta mineralização desta mineralização.

III. 1. 2. Zona de cisalhamento E–W

A estrutura de direção E-W que ocorre entre Encruzilhada e Água Levada tem como principal característica paragenética a ausência de quartzo em amostra de mão. Esta estrutura apresenta uma paragénesis constituída por uma fase de arsenopirite maciça que serve de matriz a fenômenos de deposição posteriores.

III. 1. 2. 1. Caracterização das estações

As estações alvo de análise paragenética foram Encruzilhada e Água Levada, as reduzidas dimensões do veio associadas às limitações impostas pelo terreno dificultaram o processo análise detalhada desta estrutura.

Encruzilhada

Caracteriza-se numa perspectiva paragenética pela precipitação de uma fase exclusivamente composta por arsenopirite. A arsenopirite apresenta com frequência inclusões de ilmenite e apatite, minerais possivelmente herdados do encaixante. Verificam-se reliquias de pirrotite em arsenopirite, por vezes, maciça. A arsenopirite ocorre fraturada, com preenchimentos de fraturas de quartzo e galena.

Água Levada

Em Água Levada a paragénesis apresenta uma fase primordial composta essencialmente por arsenopirite com fraturas preenchidas por quartzo, pirite, galena e calcopirite. Verificou-se a existência de duas inclusões de Au em arsenopirite em regimes de constricção. Estas partículas são muito finas tendo sido detetada apenas em microscopia eletrónica de varrimento.

III. 1. 2. 2. Modos de contacto

Com base na análise de superfícies polidas desta estrutura realizou-se o quadro de modos de contacto geral para a estrutura (Quadro 6). Os modos de contacto predominantes são o modo F (fracturação e depósito), e o modo L (Depósito livre sucessivo), sendo de registar a exsolução de electrum da arsenopirite. A paragénesis neste alinhamento apresenta uma composição muito reduzida relativamente à estrutura Argas-Cerquido. Aqui foram observadas apenas duas etapas deposicionais, inicialmente uma fase em que a estrutura acolheu uma fase de arsenopirite maciça, que posteriormente em regime dúctil-frágil desenvolveu ruturas nas quais precipitaram sulfuretos de Fe e quartzo inicialmente e posteriormente galena e calcopirite.

Apatite												
	Ilmenite											
			Pirrotite									
I	I	I	Arsenopirite									
			F,L	Pirite								
			F,L	S	Quartzo							
			I, F,L			Calcopirite						
			F,L			S	Galena					
			E						Electrum			
			A							Scorodite		

- S - Sincristalização
- F - Fracturação e depósito
- L - Depósito livre sucessivo
- D - Dissolução e depósito
- I - Inversão ou substituição
- E - Exsolução
- A - Alteração

Quadro 6: : Modos de contacto do lineamento E-W

III. 1. 2. 3. Análise paragenética

Do conjunto de observações de amostras polidas realizadas retém-se as seguintes situações com interesse paragenético:

- A composição primordial deste veio é composta por arsenopirite;
- Microscopicamente registam-se preenchimento de ruturas da arsenopirite por quartzo;
- São frequentes relíquias de pirrotite na arsenopirite;
- As arsenopirites automórficas parecem nuclear em minerais herdados como moscovite, ilmenite, apatite ou monazite;
- Por vezes verificam-se cicatrizações de arsenopirite com pirite;
- O electrum foi detetado em cristal de arsenopirite em microruturas;
- A pirite é sincrónica da geração de quartzo que preenche as ruturas;
- As gerações tardias são compostas por galena e calcopirite que surgem normalmente a preencher ruturas da arsenopirite.

No Quadro 7 sistematiza-se a análise paragenética realizada no lineamento Encruzilhada-Água Levada, neste lineamento identificaram-se apenas dois episódios de deposição.

Mineral	1ª E. D.	2ª E. D.	Alt. Superg.
Apatite	—		
Ilmenite	—		
Moscovite	—		
Pirrotite	—		
Arsenopirite	—		
Quartzo		—	
Pirite		—	
Calcopirite		—	
Galena		—	
Electrum	—		
Scorodite			—
Min. Principal	AR	Cu+Pb	

Quadro 7: Quadro paragenético do lineamento E-W

Nesta estrutura verificam-se essencialmente três fases de mineralização preponderantes. A primeira fase de mineralização corresponderá a massas monocristalinas de arsenopirite que, por vezes, complexam em minerais do encaixante que ficaram retidos na estrutura justificando-se assim as ocorrências de ilmenite, apatite e monazite.

A fase de mineralização intermédia corresponderá aos eventos que permitiram a cicatrização de ruturas com pirite e quartzo, e as partículas de electrum identificadas parecem resultar de fenómenos de dispersão da tensão interna de cristais de arsenopirite. A última fase de mineralização será responsável pelos preenchimentos de galena e calcopirite.

III. 2. Arsenopirite

Dado o carácter precoce, a propensão para acolher deformação e as evidências das relações paragenéticas com mineralizações de Au, procurou-se caracterizar as diferentes arsenopirites tentando discriminar diferentes tipos de arsenopirite, as respostas face à deformação, a composição química e as temperaturas de formação.

III. 2. 1. Tipos morfológicos de arsenopirites

As evidências de distintas gerações de arsenopirite e dos ambientes em que esta mineralização é acolhida justifica uma análise pormenorizada das diferentes arsenopirites identificadas na vertente Este da Serra de Arga. Procurou-se estabelecer no decorrer deste trabalho uma catalogação dos tipos morfológicos de arsenopirites com base no hábito, textura e nos agregados. Os resultados desta análise permitem discriminar as seguintes arsenopirites:

- As primeiras gerações correspondem a arsenopirites singenéticas, por vezes modificadas, do encaixante metassedimentar, frequentemente automórficas e nucleadas em minerais herdados como ilmenite;
- Arsenopirite em *crack-seal* precoce, associada a turmalina com cassiterite, quartzo, rútilo e hematite;
- Arsenopirite de *crack-seal* tardio, associada a quartzo, e com ruturas preenchidas por galena frequentemente com inclusões de bismuto e bismutinite;
- Em ambientes metassedimentares de fácies pelíticas;
- Em ambientes metassedimentares de fácies psamíticas;
- Arsenopirite maciça, intravenular por vezes com ruturas preenchidas por galena;
- Arsenopirite automórfica miarolítica, intravenular;
- Arsenopirite automórfica, por vezes a acompanhar a deformação, disseminada em fácies metavulcanossedimentares;
- Arsenopirite associada a outros sulfuretos;

As diferentes arsenopirites são ilustradas na Figura 22, na qual se descrevem os modos de discriminação e as ocorrências. O primeiro tipo ilustrado corresponde à primeira geração identificada de arsenopirite, caracterizando-se por arsenopirite singenética (A) a singenética modificada (B). A

arsenopirite de *crack-seal*/distinguiu-se com base nas associações minerais e na geração correspondente. A arsenopirite associada a estruturação *crack-seal*/precoce com abundante turmalina é caracterizada no tipo 2, sendo os minerais que caracterizam estas unidades a cassiterite, o rútilo e a hematite. A arsenopirite associada a estruturação em *crack-seal* de unidades tardias está associada a quartzo com crescimento em *comb structure*.

Os tipos 4 e 5 definidos correspondem a arsenopirites associadas a fácies de afinidade metavulcanogénica. O tipo 4 corresponde a arsenopirites resultantes de sulfidizações em fácies pelítica enquanto o tipo 5 corresponde a arsenopirites associadas a fácies mais grosseira, psamítica.










Tipo	Tipos morfológicos: hábitos e agregados	Esquema interpretativo	Modos de discriminação				Ocorrências
			Textural	MOLT	MOLR	MEV-ER	
1	Singenética e singenética modificada		●	●	●		
2	de <i>crack-seal</i> precoce, turmalínico - com cassiterite, rútilo e hematite		●	●	●	●	Cavalinho
3	de <i>crack-seal</i> tardio, quartzoso -		●	●	●		Fulão, Fishua, Cerquido?
4	de sulfidizações em fácies pelítica		●	●	●	●	
5	de sulfidizações em fácies psamítica		●	●	●	●	
6	maciça, intravenular		●	●	●		Encruzilhada, Água Levada, Mãos, Santa Justa
7	automórfica miarolítica, intravenular		●	●	●		
8	disseminada em rochas metavulcanossedimentares		●	●	●		Encruzilhada, Água Levada, Cavalinho
9	intercrescida com outros sulfuretos		●	●	●		Água Levada

Figura 22: Síntese dos tipos morfológicos identificados, modos de discriminação e ocorrências verificadas.

O tipo 6 corresponde a unidades de arsenopirite maciça, por vezes cataclástica, intravenular, com volframite e scheelite tardias. O tipo 7 caracteriza-se pela ocorrência de arsenopirite automática miarolítica intravenular (nuclear), por vezes com preenchimentos dos miárolos por galena ou clorite, ou menos frequente com mimetite. No tipo 8 sistematizam-se as arsenopirites que ocorrem disseminadas em rochas metavulcanossedimentares. Finalmente, o tipo 9 corresponde a arsenopirite cataclástica, por vezes disseminada, intercrescida com outros sulfuretos (essencialmente blenda) intermédia.

III. 2. 2. *Petrofabric* da arsenopirite

As mineralizações de arsenopirite são neste trabalho, analisadas como marcador da deformação acolhida nas estruturas de cisalhamento e posteriormente pelas associações que apresenta com as mineralizações auríferas. O facto de corresponder a uma das mineralizações mais precoces nas estruturas de cisalhamento associado à sua abundancia e propensão para acolher a deformação destaca a arsenopirite como marcador das estruturas de cisalhamento na Serra de Arga. Procuraram-se indícios texturais e estruturais de deformação de regime dúctil a frágil.

A diversidade de aspetos do acolhimento da deformação detetados em MOLR no decorrer do estudo de *petrofabric*. No decurso dos episódios de deformação os cristais de arsenopirite precoce estiveram sujeitos a tensões que provocaram alteração do *fabric*, ou seja, da sua configuração espacial e geométrica. Apresentam-se nesta secção os indícios de deformação em regimes que variam de frágil a dúctil.

III. 2. 2. 1. Indicadores de deformação de regime Frágil a Dúctil-Frágil

A deformação em regime frágil está patente nas brechas de falha já demonstradas previamente (Capítulo II), no entanto é também possível observar respostas em regime frágil da arsenopirite no decorrer dos episódios de deformação. No caso particular da arsenopirite a deformação em regime frágil produz frequentemente corredores de deformação marcados pela presença de arsenopirite cataclástica. No entanto nem sempre é possível distinguir a transição entre regime frágil e dúctil frágil pelo que se analisam em conjunto as texturas desenvolvidas nestes regimes. O conjunto de elementos relativos a deformação de regime frágil a dúctil-frágil é apresentado na Figura 23. Os petrofabrics detetados correspondem a estruturas de deformação que por vezes servem de armadilhas estruturais para a deposição de Au.

As texturas detetadas representam deformação em cisalhamentos que afetam as arsenopirites. Estes cisalhamentos desenvolveram texturas em *crack-seal*, em dominó e imbricações helicíticas entre arsenopirite e pirite. Detetaram-se também processos de preenchimento de microscítios com calcopirite e galena. Verificam-se faixas no seio de cristais de arsenopirite com texturas que variam de cataclástica a milonítica.

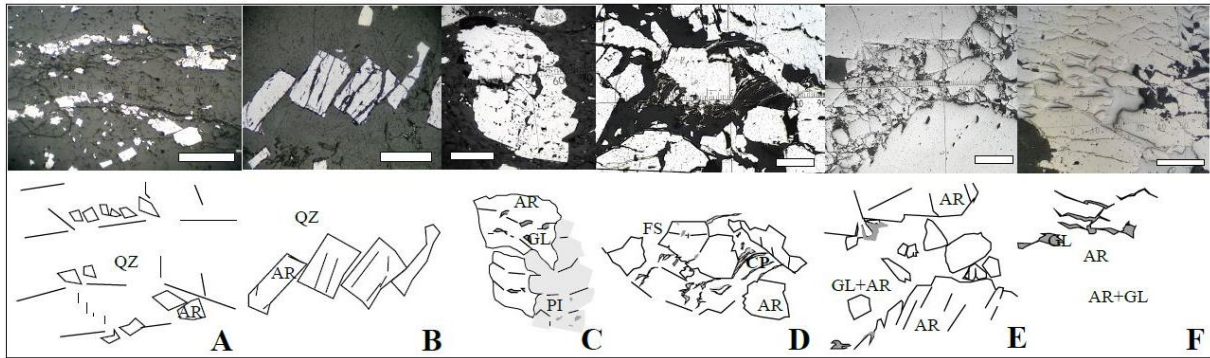


Figura 23: Petrofabric de arsenopirites precoces afectadas por cisalhamento - deformação frágil a dúctil-frágil relacionada com a remobilização e acolhimento do ouro (barra de escala = 5 mm; observação em MOLR N//): A – textura “crack-seal” de arsenopirite (AR) + quartzo (QZ); B - textura em dominó de arsenopirite (AR) em quartzo (QZ) ; C – imbricação helicítica sigmóide de arsenopirite (AR) e pirite (PI); D – abertura “en échelon” de filossilicato (FS) para acolhimento micro-venular de calcopirite, entre clastos de arsenopirite (AR); E – faixa intra-arsenopirítica com textura cataclástica a milonítica com clastos de arsenopirite (AR) cimentados por galena (GL) e contorno transpressivo; F – proliferação de microssítios transpressivos dilatacionais paralelos com galena (GL) no seio da arsenopirite (AR).

III. 2. 2. 2. Indicadores de deformação em regime Dúctil

Os indícios recolhidos de deformação dúctil relacionada com arsenopirite podem ser agrupados em 3 conjuntos: arsenopirites com zonamento químico induzido por deformação, arsenopirites com evidências de dobramento, ou ainda arsenopirites com indícios de milonitização.

Os zonamentos composicionais induzidos por deformação através de processos de *recovery* após *annealing*. Em microscopia eletrónica foi possível observar zonamentos composicionais em diversos cristais de arsenopirite. O processo de identificação de arsenopirites zonadas revelou-se de difícil execução devido às pequenas variações composicionais que ocorrem na arsenopirite o que consequentemente reduz o contraste entre fases. No entanto obtiveram-se alguns resultados que são apresentados na Figura 24.

Os zonamentos identificados correspondem a zonamentos químicos maioritariamente produzidos por fenómenos de *annealing* decorrentes de deformação. A Figura 24-A corresponde a um cristal de arsenopirite com zonamento químico sectorial. A Figura 24-B corresponde a um cristal de arsenopirite com zonamento sectorial induzido por deformação com arsenopirite cataclástica na bordadura. As Figuras 24-C e 24-D correspondem a cristais de arsenopirite em matriz filítica, onde se verificam dois zonamentos distintos, uma fase mais escura junto a minerais herdados do encaixante e um zonamento entra a bordadura do cristal e as regiões nucleares. As Figuras 24-E e 24-F correspondem a arsenopirites em matriz quartzosa em que se verifica a ocorrência de diversos cristais zonados, por vezes com zonamento progressivo (Figura 24-F).

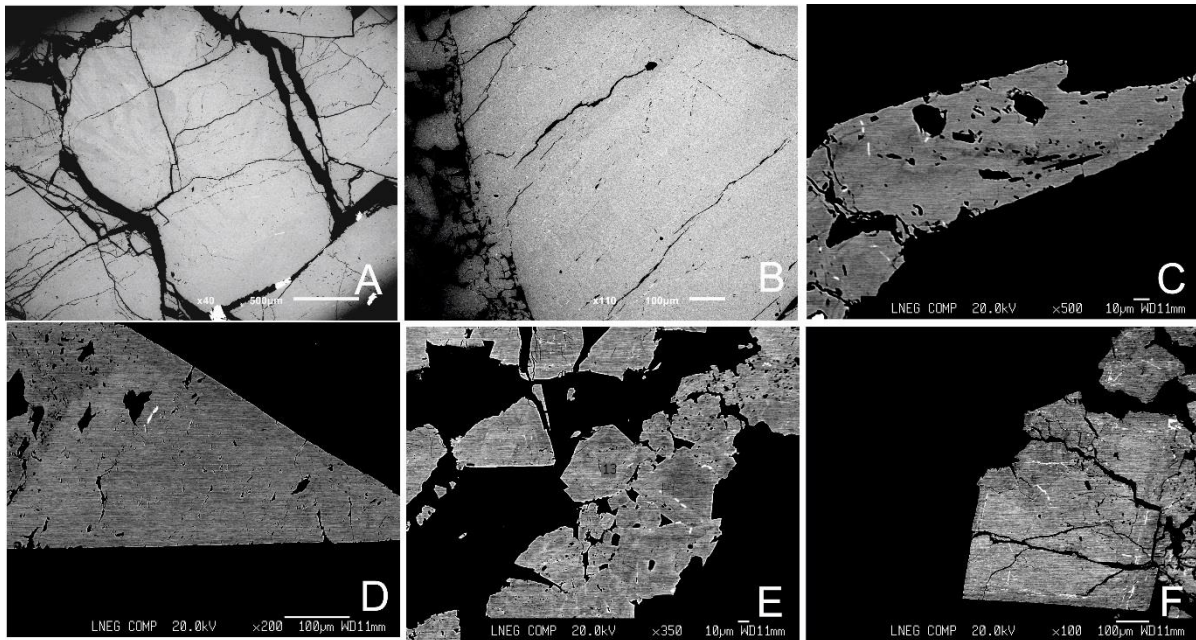


Figura 24: Zonamento químico de arsenopirite; A: sectorial da arsenopirite, fenómenos de "annealing"

Como descrito anteriormente (Capítulo II) no alinhamento E-W verifica-se a ocorrência de arsenopirite disseminada no encaixante por vezes a marcar charneiras de dobras. Na Figura 25 apresenta-se os aspetos mais peculiares da deformação identificados no alinhamento E-W em das unidades O encaixante apresenta leitos de apatite e carbonatos a marcar a foliações fantasma (Figura 25-A, 25-B e 25-C), nos quais se verificam por vezes *microlithons* de fosfato e/ou carbonatos (Figura 25-C). Identificaram-se no encaixante fases de monazite, apatite automórfica, rútilo e ilmenite. As fases de monazite encontram-se, por vezes alinhadas formando alinhamentos fantasma (Figura 25-D).

Nos sectores em que a deformação é mais intensa as fases de arsenopirite presentes no encaixante surgem em regiões de charneira, em microlocalizações dilatacionais em charneira de dobras. A arsenopirite apresenta frequentemente minerais herdados como apatite, monazite e ilmenite. As fases mais tardias correspondem a ruturas da arsenopirite com preenchimentos de galena.

Além dos ambientes indícios referidos identificaram-se ainda indícios de milonitização de arsenopirite, sendo que, por vezes as microestruturas apresentam ainda indícios de vitrificação, possivelmente correspondentes a pseudotaquilitos.

Verificaram-se ainda indícios de arsenopirite porfiroblástica, com deformação em regime dúctil a dúctil frágil e a ocorrência de microlocalizações de carácter compressivo em que a deformação se desenvolve de regime frágil a dúctil-frágil.

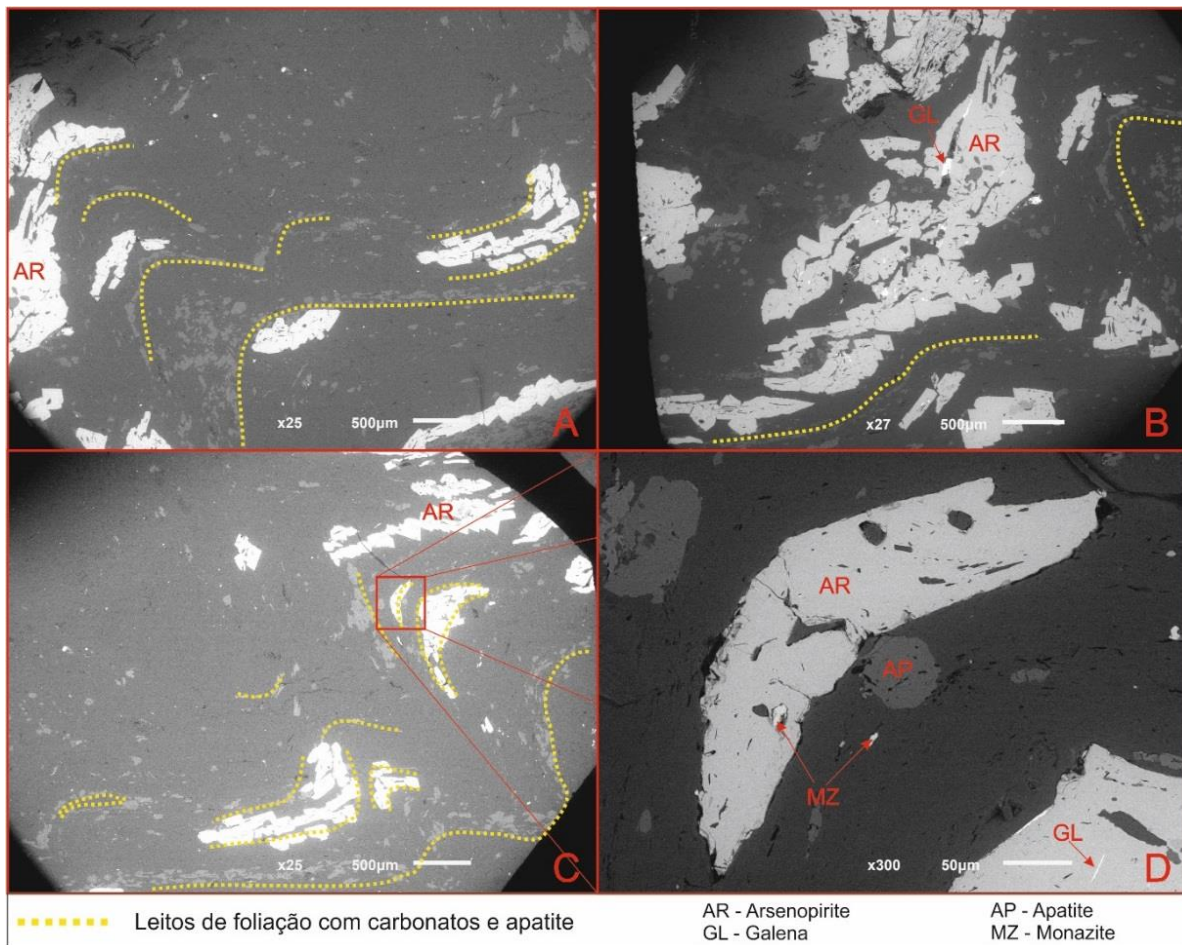


Figura 25: Arsenopirite a marcar a deformação; A: Leitos fantasma de foliação compostos por apatite e carbonatos, presença de arsenopirite de em charneira de dobra; B: Leitos de foliação de apatite e carbonatos, com arsenopirite com galena em ruturas tardias; C: Leitos de foliação com microlithons, arsenopirite de charneira; D: Arsenopirite de charneira, focada da imagem C, com minerais herdados do encaixante nomeadamente monazite e filossilicatos, cristal de apatite automórfico.

III. 2. 2. 3. Deformação progressiva na arsenopirite

Os resultados obtidos apresentam indícios de que a evolução das estruturas de cisalhamento promoveu estados de transição da deformação de regime dúctil a frágil, cisalhamentos de puro a simples e de regime transpressivo a transtensivo. A deformação da arsenopirite desenvolve-se em regimes distintos, sendo que a deformação em regime dúctil promove fenómenos de *recovery* e zonamento composicional da arsenopirite, o zonamento é frequentemente sectorial e menos evidenciado na periferia dos cristais onde a deformação em regime dúctil-frágil tende a produzir mais ruturas. A deformação em regime frágil produz poligonalização, e ruturas frequentemente preenchidas por galena das fases mais tardias. Na Figura 25 resume-se o conjunto de evidências da transição de dúctil a frágil em dois episódios distintos de deformação expressos num único cristal de arsenopirite (Figura 26-A). Verifica-se na Figura

26-B a existência de zonamento resultante de processos de “recovery” decorrentes de episódios de deformação em regime dúctil. Na Figura 26-C apresentam-se indícios para deformação em regime maioritariamente frágil, verificando-se nesta imagem ruturas de geometria transpressiva com acolhimento de galena, migração dilatacional de constituintes e ainda ruturas preenchidas por galena com evidências de poligonalização e subgranulação.

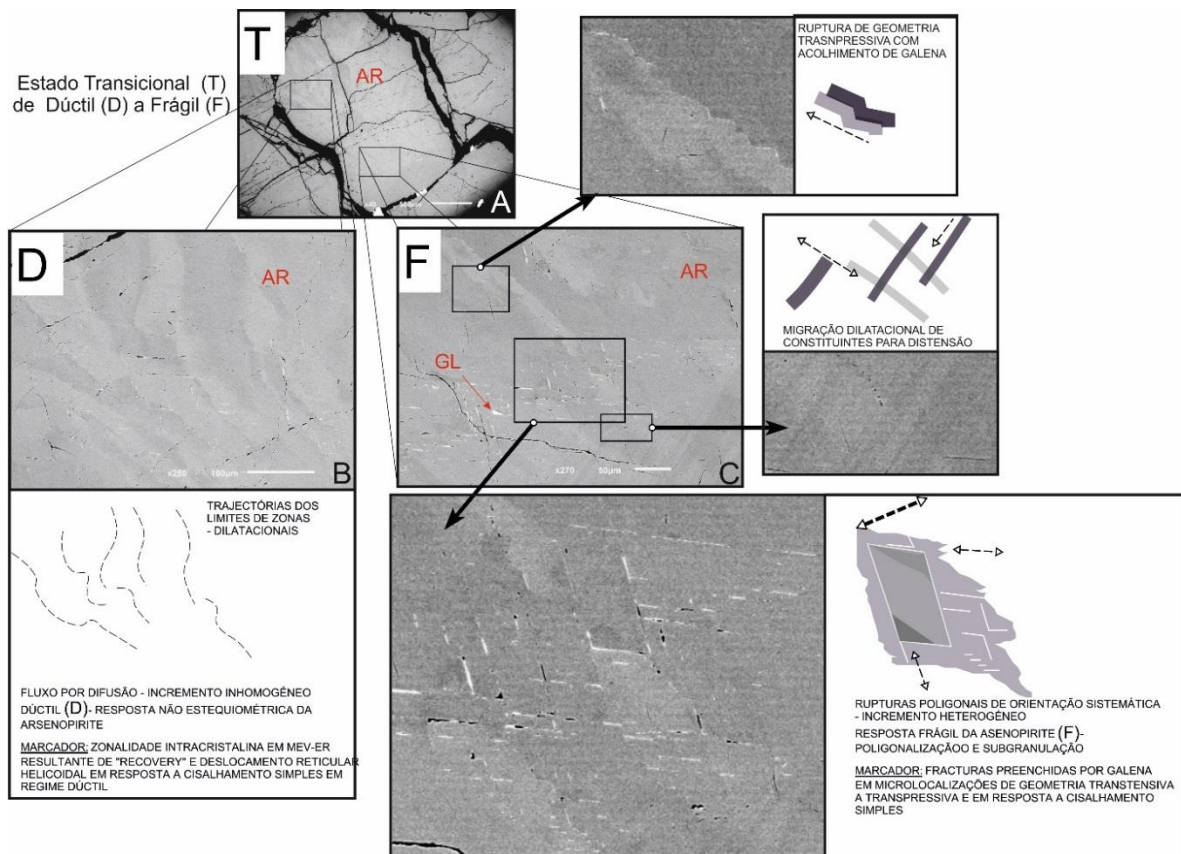


Figura 26: Testemunhos texturais dos estados de incremento da deformação progressiva das arsenopirites de regime dúctil a frágil; A: arsenopirite zonada com deformação transicional de dúctil a frágil; B: arsenopirite deformada em regime dúctil com zonamento sectorial; C: deformação de regime dúctil com zonamento sectorial e em regime frágil com fracturação e depósito de galena em ruturas.

A deformação progressiva é caracterizada pela variação de ambientes de deformação de dúctil, com arsenopirite de charneira, zonamentos químicos e microestruturas com arsenopirite sujeita a processos de milonitização, a frágil patente principalmente em microestruturas com arsenopirite cataclástica. No entanto a maioria dos indícios recolhidos correspondem a processos intermédios que se desenvolvem em regime dúctil-frágil.

III. 2. 3. Composições químicas das arsenopirites

A análise paragenética efetuada sugere, assim como refere Leal Gomes (1994), a existência de várias gerações de arsenopirite justificando assim uma análise composicional para determinar a existência de populações composicionais. As arsenopirites foram alvo de análise química pontual com o objetivo de caracterizar as arsenopirites das estruturas a nível composicional, tentando estimar condições de formação, como a temperatura e analisar ainda a existência de elementos menores, tentando perceber uma possível assinatura de natureza vulcanogénica ou exalativa e a ocorrência de ouro na estrutura da arsenopirite procuraram-se ainda evidências de zonamento químico para determinar se a distribuição de Au na estrutura da arsenopirite é homogénea.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises químicas pontuais efetuadas sobre as diversas arsenopirites do lineamento Argas-Cerquido (ZCAC).

Amostra	Fe	As	S	Au	Bi	Sb	Co	Ni	Se	Te	Ag	Cu	Total
ZCAC.1	33.63	43.42	21.80	0.01	0.09	0.02	0.06	-	0.07	0.01	N.A.	N.A.	99.11
ZCAC.2	34.05	42.32	22.52	0.00	0.08	0.01	0.05	-	0.10	0.00	N.A.	N.A.	99.13
ZCAC.3	32.55	45.22	20.79	0.02	0.07	-	0.47	0.47	0.14	-	N.A.	N.A.	99.72
ZCAC.4	33.73	42.64	22.29	0.01	0.10	-	0.05	0.07	0.12	0.01	N.A.	N.A.	99.02
ZCAC.5	33.68	43.90	21.39	0.04	0.06	0.02	0.06	-	0.07	0.01	N.A.	N.A.	99.23
ZCAC.6	33.82	43.32	21.66	0.01	0.07	0.01	0.05	-	0.15	0.01	N.A.	N.A.	99.10
ZCAC.7	33.57	43.86	21.50	-	0.06	0.02	0.05	-	0.12	0.02	N.A.	N.A.	99.21
ZCAC.8	33.87	42.29	22.57	-	0.09	-	0.05	-	0.10	0.01	N.A.	N.A.	98.98
ZCAC.9	33.61	43.44	21.49	0.03	0.07	-	0.06	0.01	0.13	-	N.A.	N.A.	98.84
ZCAC.10	33.51	43.39	21.13	0.01	0.08	0.02	0.05	-	0.12	0.00	N.A.	N.A.	98.31
ZCAC.11	33.16	44.57	20.30	0.03	0.06	-	0.05	-	0.12	-	N.A.	N.A.	98.29
ZCAC.12	33.46	44.23	21.07	0.03	0.08	0.03	0.05	-	0.09	0.00	N.A.	N.A.	99.05
ZCAC.13	33.85	42.66	22.18	0.03	0.08	0.01	0.04	-	0.14	-	N.A.	N.A.	98.99
ZCAC.14	33.46	43.42	21.26	0.03	0.06	0.02	0.05	-	0.12	0.01	N.A.	N.A.	98.43
ZCAC.15	33.78	43.56	21.06	0.07	0.06	0.00	0.05	-	0.11	-	N.A.	N.A.	98.69
Média	33.58	43.48	21.53	0.02	0.07	0.01	0.08	0.04	0.11	0.01	-	-	98.94

Tabela 1: Análise química de arsenopirites do lineamento Argas-Cerquido ("N.A.": não analisado; "-" inferior a limite de deteção)

Do conjunto de resultados de análise química pontual de arsenopirites apresentados na tabela 1, é possível verificar:

- Fe surge com valores compreendidos entre 32.55% e 34.05%, com valor médio de 33.58%;

- As registou-se com valores compreendidos entre 42.29% e 45.22%, com valor médio de 43.48%;
- S ocorre com valores compreendidos entre 20.30% e 22.57%, com valor médio de 21.53%;
- Au ocorre em 12 das 15 análises efetuadas (80%) com valores compreendidos entre 0.01% e 0.07%, o valor médio de Au reticular nas arsenopirites desta estrutura é de 0.02%;
- Bi ocorre em todas as amostras analisadas com valores compreendidos entre 0.06% e 0.10% apresentando um valor médio de 0.07%;
- Sb verificou-se em 9 das 15 análises efetuadas (60%), com valores compreendidos entre 0 e 0.03%, apresentando um valor médio de 0.01%;
- Co ocorre em todas as análises efetuadas, com valores compreendidos entre 0.04% e 0.47%, apresentando um valor médio de 0.08%;
- Ni apenas foi determinado em 3 das 15 análises efetuadas (20%), com valores compreendidos entre 0 e 0.47%, apresentando um valor médio de 0.04%;
- Se ocorre em todas as análises realizadas com valores compreendidos entre 0.07% e 0.15%, apresentando um valor médio de 0.11%;
- Te ocorre em 7 das 15 amostras efetuadas (47%) com valores compreendidos entre 0 e 0.02%, apresentando valor médio de 0.01%.

Analisaram-se também arsenopirites do lineamento E-W cujos resultados são apresentados na tabela 2. As análises EW-A correspondem a análises realizadas na estação Encruzilhada, enquanto as análises EW-B correspondem a análises químicas que incidiram em arsenopirites do lineamento E-W obtidas na estação de Água Levada.

Amostra	Fe	As	S	Au	Bi	Sb	Co	Ni	Se	Te	Ag	Cu	Total
EW-A.1	34.43	42.67	22.26	0.02	0.08	0.02	0.08	0.06	0.11	0.00	0.00	N.A.	99.74
EW-A.2	34.35	42.93	22.51	0.00	0.08	0.00	0.05	0.00	0.10	0.00	0.00	N.A.	100.03
EW-A.3	34.00	43.19	22.39	0.03	0.08	0.01	0.04	0.00	0.08	0.00	0.00	N.A.	99.82
EW-A.4	33.88	43.23	22.12	0.04	0.09	0.00	0.06	0.00	0.10	0.00	0.00	N.A.	99.51
EW-A.5	33.75	43.55	21.93	0.04	0.08	0.00	0.04	0.01	0.11	0.00	0.00	N.A.	99.52
EW-A.6	33.82	43.82	21.76	0.00	0.09	0.03	0.05	0.00	0.18	0.00	0.00	N.A.	99.75
EW-A.7	33.84	43.47	22.09	0.00	0.07	0.01	0.05	0.00	0.11	0.00	0.00	N.A.	99.65
EW-A.8	33.57	44.81	21.14	0.04	0.07	0.00	0.05	0.03	0.14	0.00	0.00	N.A.	99.85
EW-A.9	33.87	43.69	21.69	0.00	0.08	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	N.A.	99.39
EW-A.10	33.48	44.09	21.47	0.04	0.07	0.00	0.05	0.01	0.16	0.00	0.00	N.A.	99.36
EW-B.1	35.22	45.28	21.33	0.00	0.02	0.00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.00	0.00	101.85

EW-B.2	35.68	44.67	21.32	0.00	0.07	0.04	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.07	0.00	101.85
EW-B.3	35.17	45.61	21.29	0.00	0.03	0.00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.02	0.00	102.12
EW-B.4	35.36	44.78	22.07	0.00	0.10	0.00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.00	0.00	102.31
EW-B.5	35.69	44.70	21.65	0.00	0.05	0.01	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.00	0.04	102.14
EW-B.6	35.60	45.20	20.98	0.00	0.04	0.00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.00	0.00	101.82
Média	34.48	44.11	21.75	0.01	0.07	0.01	0.05	0.01	0.11	0.00	0.01	0.01	100.54

Tabela 2: Análise química de arsenopirites do lineamento E-W; EW-A: estação de Encruzilhada; EW-B estação de Água Levada. ("N.A.": não analisado; "-" inferior a limite de detecção)

Do conjunto de resultados de análise química pontual de arsenopirites apresentados na tabela 2, é possível verificar:

- Fe surge com valores compreendidos entre 33.48% e 35.69%, com valor médio de 34.48%;
- As registou-se com valores compreendidos entre 42.67% e 45.61%, com valor médio de 44.11%;
- S ocorre com valores compreendidos entre 20.98% e 22.51%, com valor médio de 21.75%;
- Au ocorre em 6 das 16 análises efetuadas (37.5%) com valores compreendidos entre 0 e 0.04%, sendo que o valor médio de Au reticular nas arsenopirites desta estrutura é de 0.01%;
- Bi ocorre em todas as amostras analisadas com valores compreendidos entre 0.02% e 0.10% apresentando um valor médio de 0.07%;
- Sb verificou-se em 7 das 16 análises efetuadas (43.75%), com valores compreendidos entre 0 e 0.03%, apresentando um valor médio de 0.01%;
- Co ocorre em todas as análises efetuadas, com valores compreendidos entre 0.04% e 0.08%, apresentando um valor médio de 0.05%;
- Ni apenas foi determinado em 4 das 10 análises efetuadas (40%), com valores compreendidos entre 0 e 0.6%, apresentando um valor médio de 0.01%;
- Se ocorre em 9 das 10 análises realizadas (90%) com valores compreendidos entre 0 e 0.18%, apresentando um valor médio de 0.11%;
- Te não se verificou em nenhuma das análises efetuadas;
- Ag registou-se em 2 das 16 amostras realizadas (12.5%), com um máximo de 0.07%;

Os dados obtidos nas análises que incidiram sobre as arsenopirites foram recalculados para percentagem atômica e projetados no diagrama triangular relativo ao sistema Fe-As-S. Na Figura 27 é apresentada a projeção das composições químicas das arsenopirites dos diferentes alinhamentos e são adicionados os dados de Leal Gomes (1994) para permitir comparação. O diagrama foi ampliado para

que existisse resolução entre as análises, e os limites do diagrama encontram-se entre 33% e 41% para o S (vértice inferior esquerdo), entre 28% e 36% para o caso do As (vértice inferior direito) e entre 31% e 39% para o caso do Fe (vértice superior).

No diagrama presente na Figura 27 é possível verificar que nas análises efetuadas no decorrer deste trabalho as arsenopirites se encontram no intervalo entre 34,39% e 37,55% de S, entre 29,69% e 32,90% de As e entre 31,77% e 34,80% de Fe.

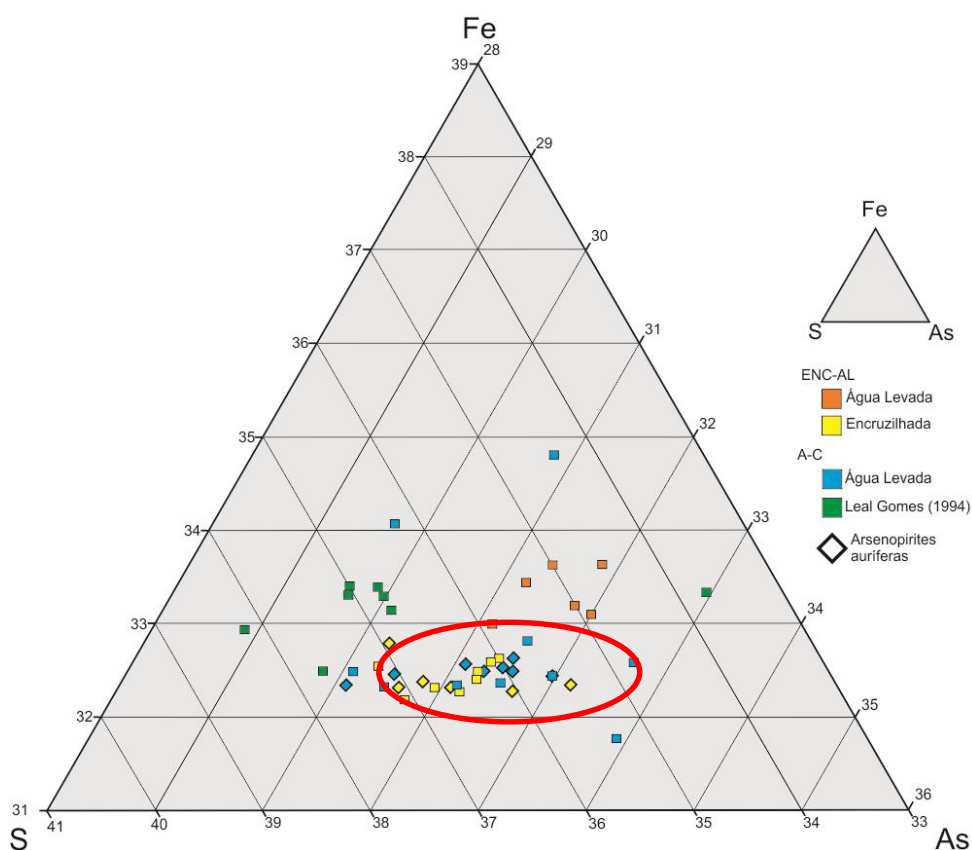


Figura 27: Projeção em diagrama Fe-As-S das análises químicas realizadas em arsenopirites.

De salientar que as análises em que se verificou a existência de Au reticular se encontram entre 32% e 33% de Fe, o que poderá resultar do mecanismo de substituição proposto por Johan *et al* (1989). As análises realizadas em Água Levada relativas ao cisalhamento E-W não apresentaram Au reticular.

Na Figura 28 é apresentada a variação dos valores médios de elementos menores entre os dois cisalhamentos em estudo. A estrutura de cisalhamento Argas-Cerquido apresenta valores médios superiores em todos os elementos analisados relativamente à estrutura E-W. A diferença mais evidente ocorre nos elementos Co e Ni, com diferenças de 300 ppm, no entanto esta diferença estará condicionada pelo resultado da análise ZCAC 3 que apresenta valores de 0,47% de Co e Ni.

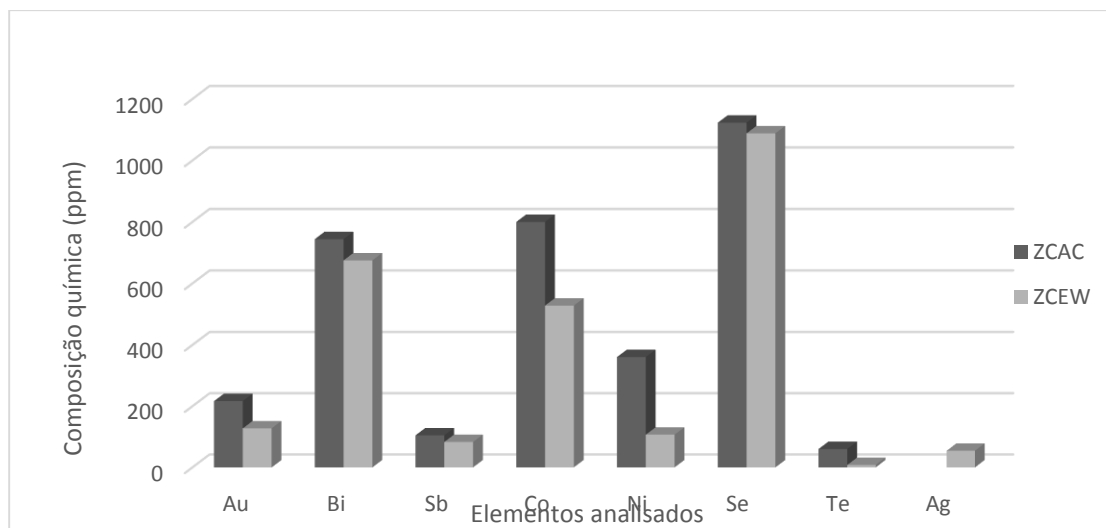


Figura 28: Variação de elementos menores entre o cisalhamento Argas-Cerquido e o cisalhamento E-W.

III. 2. 4. Zonamentos composicionais da arsenopirite

Do conjunto de zonamentos obtidos e apresentados previamente na Figura 23, foram alvo de análise química as fases contrastantes da Figura 23-C e 23-D, que correspondem a cristais com contrastes de fases bem definidos, com limites cristalinos perceptíveis e que representam distintas posições relativamente ao acolhimento de deformação. Analisou-se um cristal com evidências de deformação maioritariamente em regime dúctil (Figura 23-C) e um cristal automórfico (Figura 23-D)

Na Figura 29 são apresentados os zonamentos que foram alvo de análise, as localizações das análises efetuadas e os resultados das análises. As análises ENC.10, ENC.11, ENC. 12, ENC.14 e ENC.15 foram realizadas em fases contrastantes dos cristais de arsenopirite.

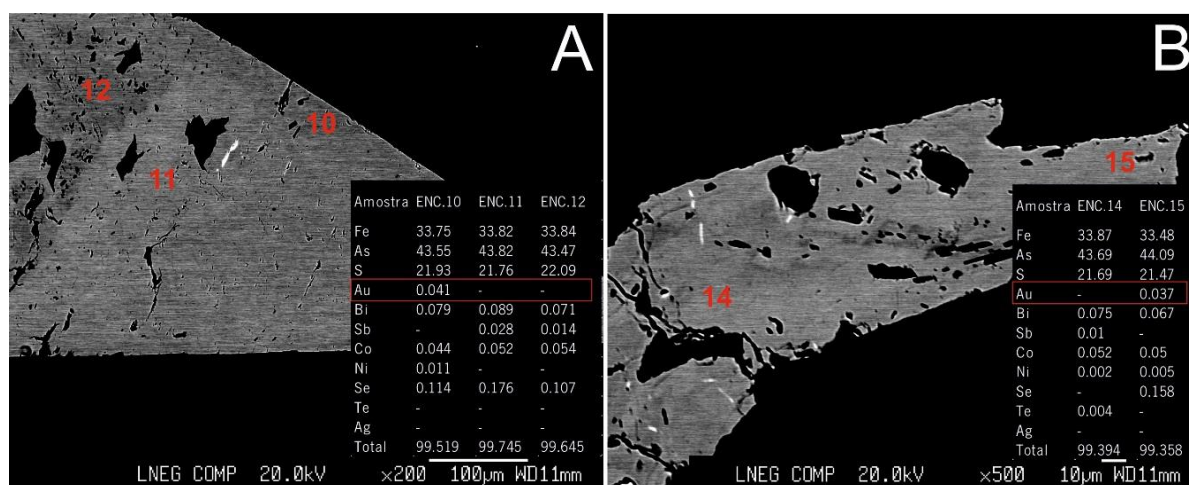


Figura 29: Análises realizadas em fases contrastantes de cristais de arsenopirite

Na arsenopirite apresentada na Figura 29-A analisaram-se 3 fases contrastantes, a análise ENC.10 realizada na bordadura do cristal, na região escura, que contrasta com a região nuclear do cristal onde se efetuou a análise ENC.11. A análise ENC.12 realizou-se na fase mais escura do cristal numa região em que o cristal apresenta indícios de alteração. Na arsenopirite da Figura 29-B realizaram-se duas análises ENC.14 e ENC.15, correspondendo a análise ENC.14 à região nuclear do cristal, fase mais clara, enquanto a análise ENC.15 efetuou-se na fase mais escura da bordadura da arsenopirite.

No cristal da Figura 29-A verifica-se que na região nuclear (análise ENC.11) registaram-se valores superiores de Fe (33,75%), As (43,82%), Bi (0,089%), Sb (0,028%), Co (0,052%) e Se (0,176%) e valores inferiores de S (21,93%), Au (0,041%) e Ni (0,011%) relativamente à bordadura do cristal (ENC.10). Na Figura 28-B verifica-se que na região nuclear detetaram-se valores superiores de Fe (33,87%), de S (21,69%), Bi (0,075%) e Sb (0,01%) e valores inferiores de As (43,69%), Au (não detetado), Ni (0,02%) relativamente à bordadura do cristal (ENC.10). Em nenhuma das análises se verificou a ocorrência de prata. A análise ENC.12 corresponde possivelmente a uma fase alterada da arsenopirite e comparando com a análise ENC.11, verifica-se que apresenta empobrecimento em As, Bi, Sb e Se, demonstrando um enriquecimento em S.

De acordo com o modelo proposto em Johan *et al.* (1989) a zonalidade química da arsenopirite caracteriza-se por fases ricas em elementos como As e Au nas fases de bordadura enquanto as regiões nucleares apresentam fases com maior conteúdo em Fe e Sb. Nas análises efetuadas verifica-se que apenas no cristal B ocorre o enriquecimento em As sugerido por Johan *et al.* (1989). No caso do ferro verifica-se que existe nos cristais uma pequena diminuição da bordadura para a região nuclear. No entanto determinou-se que o ouro ocorre apenas nas análises realizadas nas fases de bordadura enquanto o Sb foi detetado apenas nas fases nucleares. Em suma, à exceção dos resultados de As na Figura 29-A verifica-se que o modelo se aplica com fases nucleares ricas em Fe e Sb, e fases periféricas ricas em As e Au, mas seria, no entanto necessário obter mais resultados para comprovar estas tendências.

III. 2. 5. Arsenopirite como geotermómetro

Da análise efetuada foi possível estabelecer com base nos trabalhos de Kretschmar & Scott (1976) a temperatura de formação das arsenopirites. Estes autores determinaram através de análise de arsenopirites sintéticas uma correlação entre a percentagem atómica de As existente na arsenopirite e a temperatura a que esta se formou. Na Figura 30 apresentam-se as projeções dos dados obtidos no diagrama pseudobinário de Kretschmar & Scott (1976). As populações de arsenopirites analisadas

demonstraram que as amostras do lineamento Encruzilhada-Água Levada apresentam uma amplitude de temperaturas entre 363° e 455° C (variação de 92°C), comparativamente às análises que incidiram sobre arsenopirites do lineamento Argas-Cerquido que apresentam uma variação de temperaturas entre 330° e 490°C (variação de 160° C).

Os resultados obtidos das análises no cisalhamento Argas-Cerquido parecem apresentar três conjuntos de temperaturas, entre 480°C e 490°C, entre 400°C e 440°C e por fim entre 350°C e 380°C.

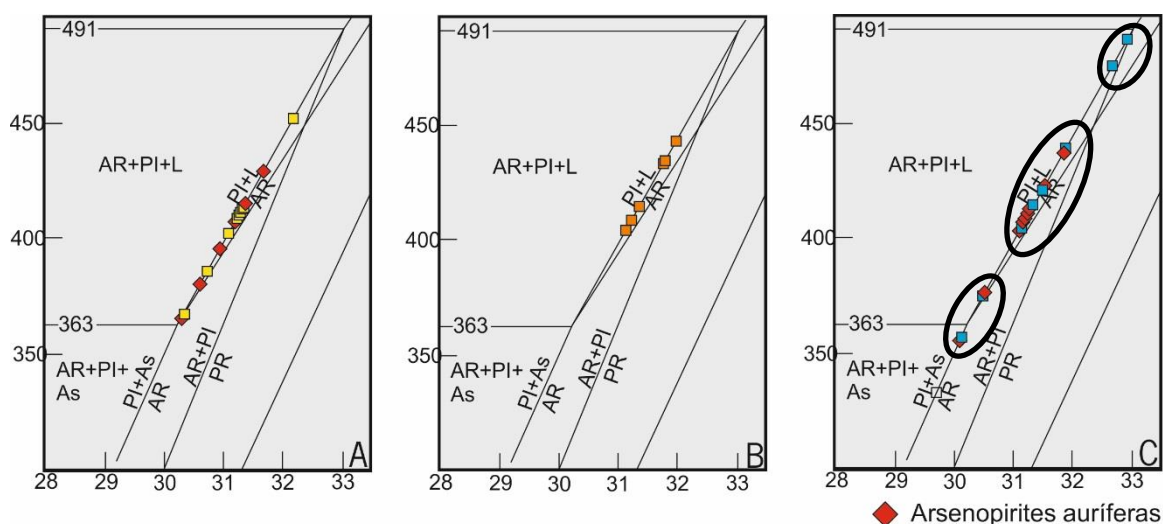


Figura 30: Projeções das análises realizadas no diagrama pseudobinário de Kretschmar e Scott (1976), com distinção das arsenopirites auríferas; A: Lineamento E-W – estação encruzilhada; B: Lineamento E-W – estação Água Levada; C: ZCAC

A elevada dispersão de resultados apresentada no cisalhamento Argas-Cerquido poderá ser resultado dos sucessivos episódios de reativação das estruturas e dos fenómenos de deposição associados permitindo várias gerações de arsenopirite como descrito em Leal Gomes (1994), formadas em diferentes episódios de deformação. No cisalhamento Encruzilhada-Água Levada registou-se menor dispersão de resultados na estação de Água Levada, o que estará de acordo com os dados paragenéticos que sugerem poucas reativações desta estrutura que revelou apenas um episódio de deposição após a deposição da arsenopirite. É ainda possível verificar que do conjunto de análises realizadas as que apresentam Au reticular ocorrem entre 350°C e 450°C de acordo com os parâmetros de Kretschmar e Scott (1976).

Os conjuntos de temperaturas que se verificam no cisalhamento Argas-Cerquido podem resultar de diferentes gerações de arsenopirite, e, assim sendo a primeira geração de maior temperatura poderá ser relativa à primeira fase de mineralização em que a arsenopirite surge associada a volframite. A segunda geração é relativa à fase de mineralização em que a arsenopirite é o principal marcador e por último, o terceiro conjunto correspondente às fases de precipitação de pirite em que se verifica arsenopirite associada.

III. 3. Mineralizações auríferas

As mineralizações auríferas na Serra de Arga foram estudadas em Leal Gomes (1992), onde se referem as variações de Au na estrutura de cisalhamento e são caracterizadas as ocorrências mineralógicas de Au na estrutura de Argas-Cerquido. Neste trabalho procura-se contribuir para a sistematização de mineralizações auríferas na Serra de Arga, assim como identificar os elementos que condicionam a deposição de Au.

III. 3. 1. Fontes primárias de Au

No decurso deste trabalho registaram-se diversos estágios de deposição de mineralizações auríferas, o que tornou possível propor um modelo de sucessivas reposições das mineralizações de Au. O estágio mais precoce de mineralizações auríferas corresponde a uma deposição inicial em rochas de afinidade vulcanogénica, estas mineralizações são remobilizadas destes litótipos e posteriormente veiculadas e acolhidas nas estruturas de desligamento. As ilustrações apresentadas na Figura 31 retratam as ocorrências mais precoces de Au na região da Serra de Arga.

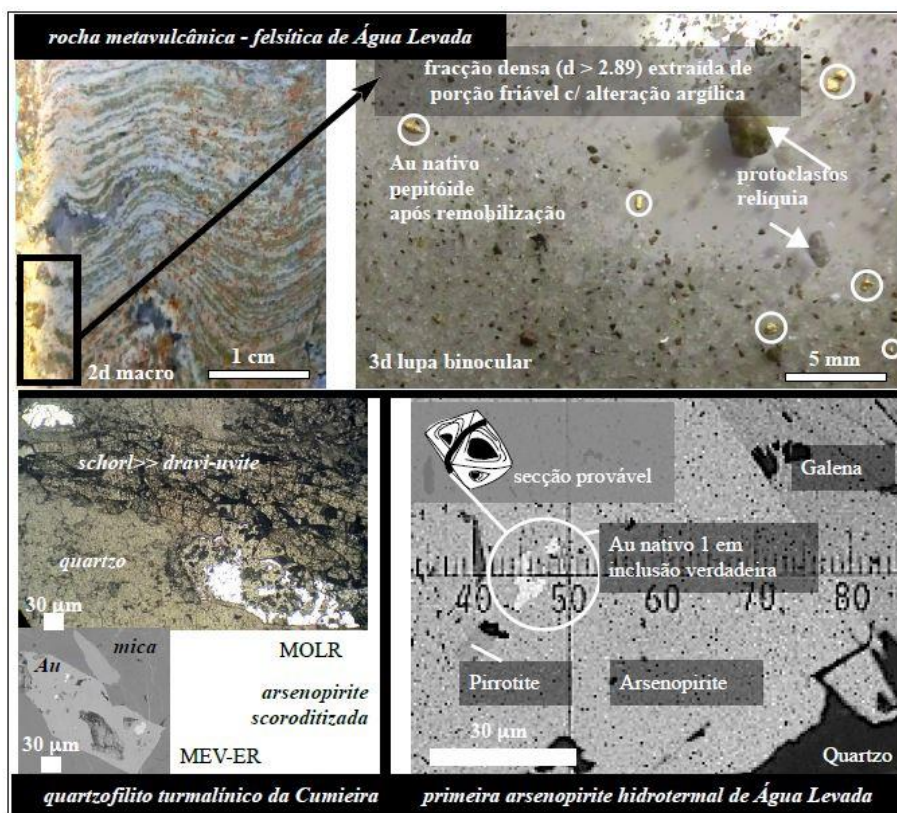


Figura 31: Ilustração de fácies litológicas portadoras de pré-concentrações de Au singenéticas ou já relacionadas com uma remobilização metassomático-hidrotermal primitiva.

As mineralizações ocorrem em quartzofilitos turmalínicos em que são por vezes observados teores anómalos, de 802 ppb, e em unidades metatufáceas bandadas das proximidades os teores podem chegar a 886 ppb. Outras fácies deste tipo, também portadoras de grafite e intensamente afetadas por alteração argílica, quando sujeitas à extração dos minerais densos da fração fina friável, mostraram partículas de ouro pepitóide por vezes com dimensão milimétrica. Estas partículas podem corresponder à remobilização de um *stock* metalífero singenético, alojado em fácies de afinidade vulcanogénica.

III. 3. 2. Variação de teores de Au na ZCAC

Estudos anteriores sugerem que os teores de Au na zona de cisalhamento mestra do duplex aumentam em profundidade e a Sul do ponto de confluência das estruturas de ordem secundária (Leal Gomes, 1994). Realizou-se neste trabalho um conjunto de análises cuja localização é apresentada na Figura 12; Estes resultados resultam de análises de Au por ativação neutrónica, que incidiram sobre amostras em canal nos locais mais ricos da região:

- Cerdeirinha (400 m de altitude) - canal com 30 cm - Au = 8 ppm – o ouro não ocorre particulado mas na rede cristalina da arsenopirite, distribuído de forma heterogénea;
- Cabeço do Meio Dia (476 m de altitude) - canal com 52 cm - Au = 17 ppm – as partículas de Au nativo ocorrem em inclusões ou exsudações na arsenopirite, em resposta a processos de *annealing-recovery*;
- Água Levada (AL) (359 m de altitude) – canal com 135 cm - Au = 18 ppm - as partículas de Au denotam incremento progressivo da exsudação; por vezes estão alojadas em junções triplas da subgranulação da arsenopirite hospedeira;
- Segmento entre o Cavalinho (CV) e a Cova dos Mouros (CM) (531 m de altitude) – canal com 41 cm - Au = 16 ppm – as microlocalizações do Au e electrum são típicas de acolhimento transpressivo;
- Cavalinho (CV) (531 m de altitude) – canal com 41 cm - Au = 14 ppm – as partículas de electrum são predominantes, ocorrem nas geometrias dilatacionais mais típicas das arsenopirites.

III. 3. 3. Sequência de reposicionamento paragenético das mineralizações auríferas

Estudos prévios reuniram condições para propor uma sequência de episódios de remobilização de Au desde as primeiras evidências de Au, na estrutura da arsenopirite, até aos estádios mais tardios em que a precipitação ocorre sob a forma de electrum associado a ruturas da arsenopirite (Figura 32).

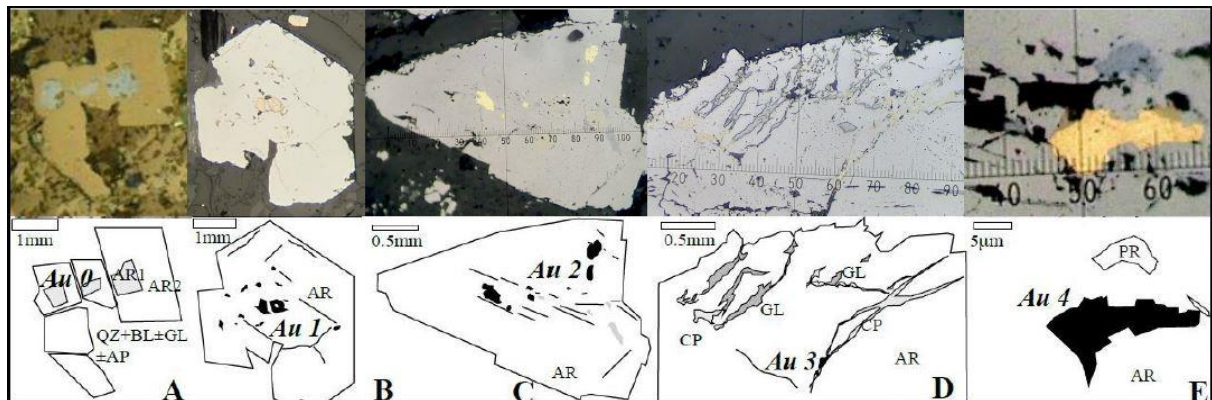


Figura 32: Tipologia das partículas de ouro em diferentes formas de acolhimento em arsenopirite (observação em MOLR N//, excluindo A): A – Au reticular na arsenopirite (AR) e no seio de quartzo (QZ) + blenda (BL) ± galena (GL) ± apatite (AP) (Au 0 em conteúdos diferenciados induzidos por deformação e “annealing” influencia o contraste de fase ótico da arsenopirite – Ar1 distinto de Ar2 – em MOLR, com ligeiro cruzamento dos nicóis); B – Exsolução zonal de Au nativo, primitivo, automórfico (Au 1), em porções centrais da arsenopirite (AR); C – Au 2, nativo, exsudado após “annealing”; D – Au 3 (electrum) em fraccionação de galena (GL) => calcopirite (CP) em oclusão de ruturas *en échelon* no seio da arsenopirite cisalhada (AR); E – Au 4 heterogéneo (electrum e/ou prata dourada) em acolhimentos de cinemática polifásica, dilatacional, no seio de arsenopirite com inclusões de pirrotite (PR).

A primeira etapa Au0 corresponde à incorporação de Au reticular na estrutura da arsenopirite ou *invisible gold* (Johan *et al.*, 1989). O primeiro estádio em que se reconhece a ocorrência de Au microscópico é o Au1, e nesta etapa a mineralização resulta de exsolução do Au reticular da arsenopirite surgindo como inclusões em matriz arsenopirítica. O segundo episódio em que se identificam partículas de Au (Au2) corresponde a fenómenos de reposição de partículas de Au resultantes de processos de *annealing*. O Au3 corresponde a partículas de electrum que são veiculadas pelo fluido responsável pela mineralização de galena que frequentemente preenche as ruturas de arsenopirite. O último estádio de deposição de mineralizações auríferas (Au4) identificado corresponde a eventos tardios de precipitação de electrum/prata dourada em acolhimentos de cinemática polifásica, dilatacional em arsenopirite.

III. 3. 3. 1. Au 0 - Acolhimento de Au reticular na arsenopirite

Trabalhos prévios de Leal Gomes e Dias (2011) revelaram a existência de Au reticular em arsenopirites de afinidade vulcanogénica em Cerdeirinha, nas quais é evidente que a distribuição de Au na arsenopirite é heterogénea (Figura 33).

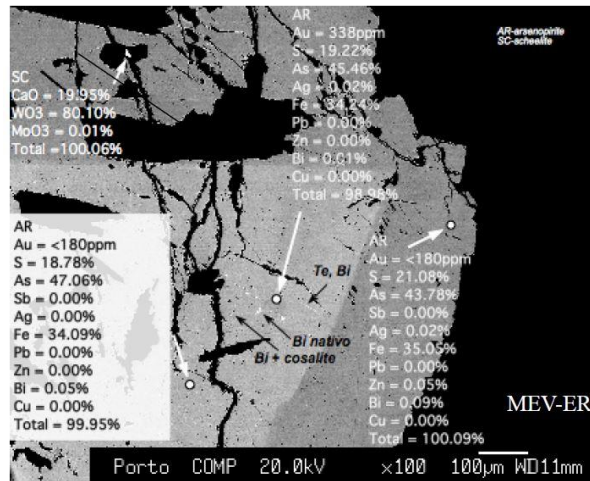


Figura 33: Arsenopirite inicial com zonamento epitáxico induzido por crescimento cristalino, fraccionado, e zonamento sectorial decorrente de deformação, com annealing associado. Notam-se variações do conteúdo de Au reticular relacionadas com “annealing-recovery” e expressões polimetálicas de Bi e Te, possivelmente com a mesma origem. (extraído de Dias & Leal Gomes (2011));

No decorrer deste trabalho analisaram-se arsenopirites dos cisalhamentos em estudo tentando identificar a existência de Au reticular. A análise paragenética demonstrou que os primeiros estágios que permitem a precipitação de mineralizações auríferas estão relacionados com fenómenos de exsolução de Au da arsenopirite justificando-se assim perceber se existe Au na estrutura deste mineral, o que é referido na bibliografia por *invisible gold* e que se entende por partículas de Au não detetáveis em microscopia ótica, apresentando dimensões inferiores a 0.1µm, ou seja, partículas submicroscópicas inclusas na rede dos minerais ou partículas que ficam retidas em defeitos na rede cristalina.

As análises pontuais em microsonda eletrónica demonstraram que a ocorrência de Au na estrutura da arsenopirite não é regular. Realizaram-se 31 análises nas quais foi detetado Au em 20 amostras (65%). A análise efetuada que apresentou maior conteúdo de Au reticular foi realizada numa arsenopirite do cisalhamento Argas-Cerquido com 693 ppm. Na estrutura Encruzilhada-Água Levada a análise com maior teor de Au registou 411 ppm. Procurou-se ainda identificar evidências de zonamento cristalino de arsenopirites em microsonda eletrónica através de análise por eletrões retrodifundidos e quando possível procurar variações químicas nestes zonamentos.

Na Figura 22 apresentada no subcapítulo III. 2. ilustra-se a melhor evidência recolhida de zonamento composicional e as localizações das análises realizadas e é retomada para análise da composição de Au. O cristal de arsenopirite apresentado possui 3 zonas distintas que foram analisadas (análise 10, 11 e 12). Na análise 10 verificou-se a existência de Au reticular (411ppm), esta que foi realizada em região contrastante na periferia do cristal de arsenopirite. No entanto as análises 11 e 12 que foram realizadas na região nuclear da arsenopirite, em fases distintas, não demonstraram teores de Au superiores ao limite de detecção.

A arsenopirite natural apresenta com frequência heterogeneidades que podem controlar a ocorrência de Au na estrutura cristalina. O zonamento composicional de arsenopirites naturais é um fenómeno muito frequente, porém muito difícil ou quase impossível de detetar em microscopia ótica. O zonamento que se verifica em microscopia ótica não corresponde necessariamente a zonamento composicional sendo na grande maioria dos casos devido a processos de *twinning*. (Kretschmar & Scott, 1976).

A diferença entre a análise 10 e as restantes análises no cristal da Figura 20 poderá significar que este zonamento de fases corresponderá ao zonamento natural de arsenopirite. Cabri *et al*/(2000) referem que a existência de zonamentos químicos da arsenopirite condiciona a incorporação de Au, sendo registados normalmente valores superiores de Au nas regiões periféricas dos cristais, o que fica a dever-se segundo os autores ao mecanismo de substituição que permite a existência de Au reticular. A variação nas análises 11 e 12 realizadas em fases contrastantes na região nuclear da arsenopirite não apresentaram Au, este zonamento poderá ser resultante de processos de alteração supergénica.

Em síntese, confirma-se a existência do fenómeno de *invisible gold* nas arsenopirites da ZCAC, sendo o Au reticular o primeiro estágio de Au nas estruturas de cisalhamento da vertente Este da Serra de Arga. Os dados recolhidos corroboram o trabalho de Cabri *et al*/(2000) que refere a ocorrência de Au nas fases periféricas dos cristais de arsenopirite.

III. 3. 3. 2. Au 1 – Exsoluções de Au na arsenopirite

O estágio Au1 corresponde à ocorrência de inclusões de Au nativo na arsenopirite que resultam de fenómenos de exsolução do Au reticular da arsenopirite. Na Figura 34 é apresentada um indício de inclusão de Au em cristal de arsenopirite.

Este fenómeno será resultado de processos de exsolução desenvolvidos em regime subsolvus do Au reticular que originam inclusões de Au na arsenopirite.

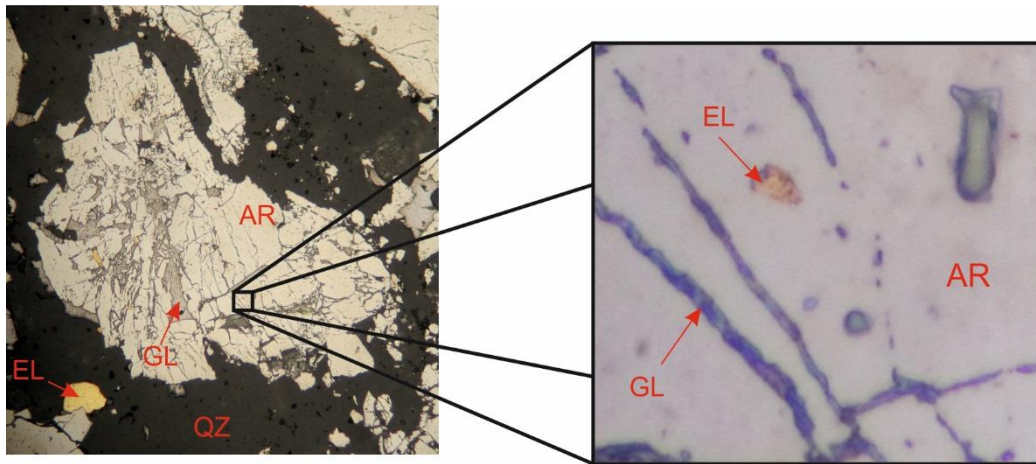


Figura 34: Inclusão de Au em arsenopirite

III. 3. 3. 3. Au 2 - Exsudação de Au após annealing

Os fenómenos de *annealing - recovery* sugerem a existência de uma etapa intermédia entre a remobilização de Au nativo incluído na arsenopirite e as partículas de electrum acolhidas nas ruturas de arsenopirite. Este processo de reposicionamento paragenético é documentado na Figura 35, onde se verifica uma lineação de partículas de galena e electrum que ficaram retidas durante o processo de reposicionamento da arsenopirite para a rutura dilatacional. Na Figura 35 verifica-se a existência de rutura em arsenopirite preenchida por electrum e galena. Nesta Figura demonstra-se uma lineação de partículas de electrum e galena em direção à rutura. De registar a existência de auréola apenas presente na periferia das partículas de electrum e ausente na partícula de galena.

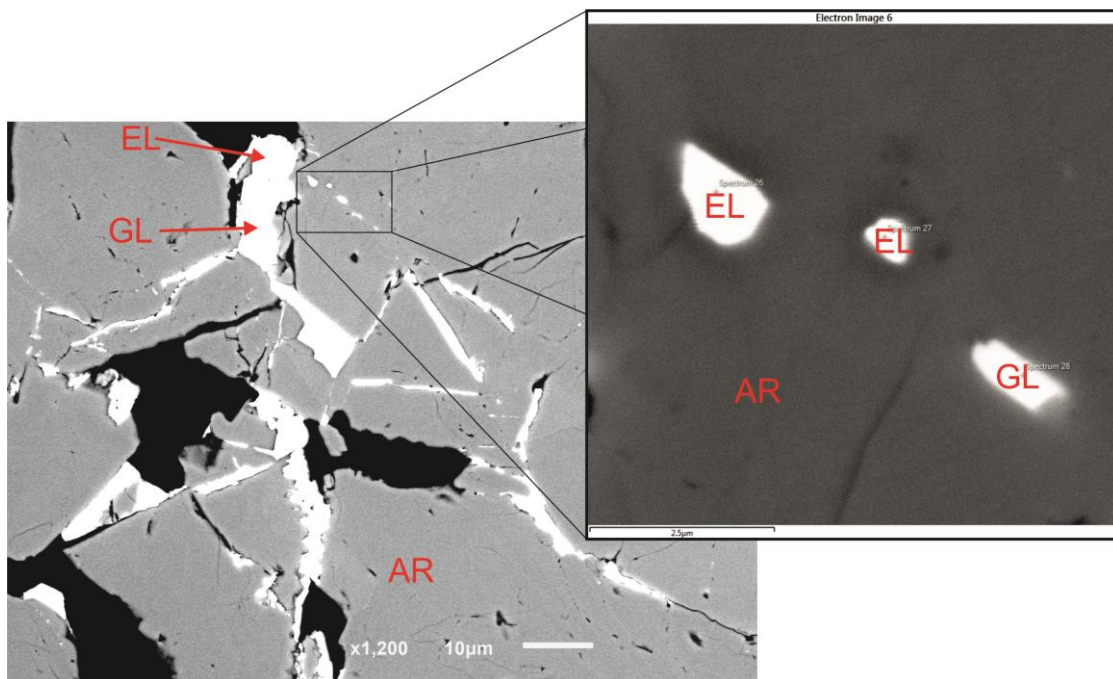


Figura 35: Electrum em ruturas de arsenopirite associado a galena

III. 3. 3. 4. Au 3 – Electrum remobilizado com deposição associada a blenda e galena

O estágio de deposição Au₃ corresponde à fase de remobilização de Au em que ocorre a precipitação de partículas de electrum em ruturas da arsenopirite. Esta fase de mineralização verifica-se em dois fenómenos de remobilização distintos, numa fase inicial relacionado com blenda e posteriormente associada a galena.

O episódio em que a remobilização de Au ocorre por ação do fluido que precipita as fases zincíferas caracteriza-se pela ocorrência de partículas de electrum associadas a arsenopirite. A blenda ocorre constantemente com arsenopirite fina extremamente careada, frequentemente associada a electrum. Na Figura 36 é apresentado o conjunto de aspetos em que ocorrem partículas de electrum em blenda, sendo possível observar o conjunto de exsoluções de calcopirite que ocorrem em blenda assim como arsenopirites que por vezes apresentam partículas de electrum associadas.

As Figuras 36 A, B, C e D correspondem a partículas de electrum associadas a arsenopirite presentes no campo de visão da Figura 36, contudo destaca-se a ocorrência apresentada na Figura 36-C em que a partícula de electrum ocorre sem arsenopirite, apresentando apenas fases de galena na periferia. Em microscopia ótica de luz refletida verificou-se que a ocorrência de electrum parece estar relacionada com a coexistência de arsenopirite e calcopirite na matriz de blenda não se tendo verificado a presença de electrum em blenda quando um destes sulfuretos está ausente. Em blenda verifica-se que por vezes as partículas de electrum ocorrem sem contacto com arsenopirite.

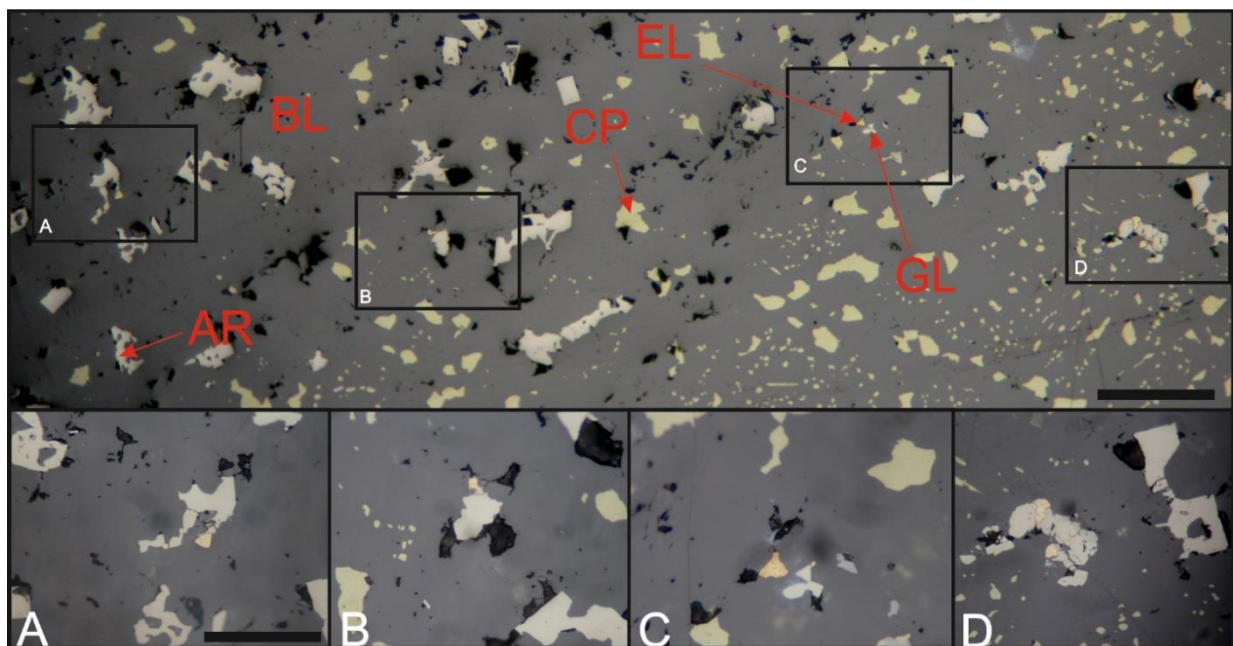


Figura 36: Conjunto de evidências de Au relacionado com a deposição de blenda.

A evidência de que as partículas de electrum associadas a arsenopirite ocorrem quando a calcopirite se encontra na matriz poderá ser resultado de variações de temperatura que afetam a mobilização de Au e Cu. Como já foi referido anteriormente o Cu, no caso da blenda, e o Au, no caso da arsenopirite, resultam de processos de exsolução. O facto de só ocorrer electrum quando se encontram as duas exsoluções em paragénese poderá significar que a temperatura necessária para remobilizar o Au reticular da arsenopirite é próxima da temperatura necessária para remobilizar o Cu reticular da blenda. Assim sendo, quando a temperatura necessária para exsolver as mineralizações de Cu não é atingida ocorre blenda com arsenopirite sem evidências de electrum. Do mesmo modo, quando só ocorre o fenómeno de *chalcopyrite disease*, sem se verificar arsenopirite na matriz o electrum não tem o mineral portador para ser exsolvido. Deste modo justifica-se que, apenas quando os dois minerais coexistem na matriz de blenda se verifique a ocorrência de electrum.

No caso dos episódios de remobilização tardios, a galena é o principal marcador precipitando em ruturas da arsenopirite. Os exemplos mais paradigmáticos deste estágio de remobilização são apresentados na Figura 37. Neste estágio formam-se partículas de electrum que apresentam geralmente maior conteúdo em prata, o ouro exsudado no decorrer do estágio Au₂ precipita nas ruturas associado geralmente a galena. Verificou-se que as partículas de Au apesar de precipitarem nas ruturas complexam frequentemente no contacto com outras fases minerais, normalmente arsenopirite ou pirite, não se tendo verificado partículas de electrum com bordadura constituída apenas por galena.

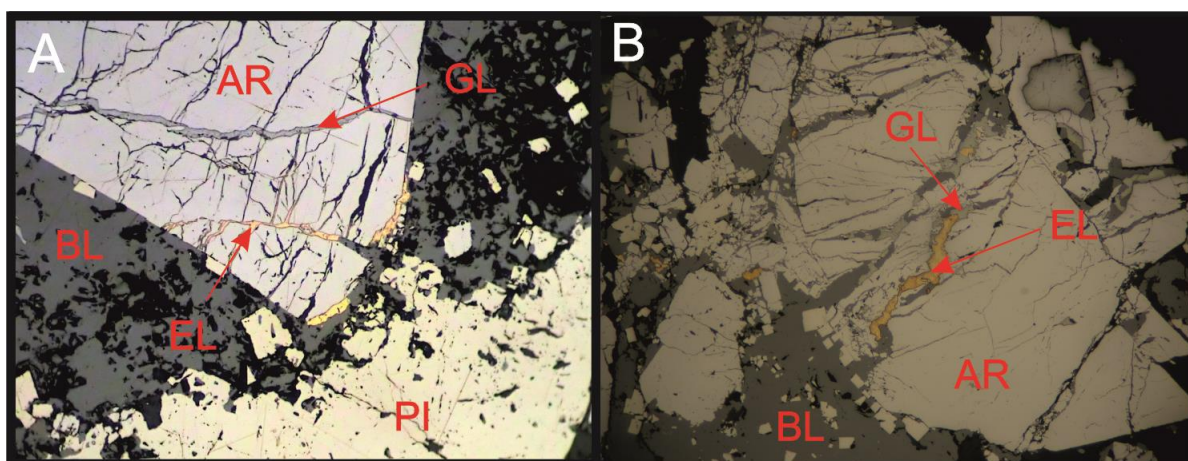


Figura 37: Deposição de electrum associado a galena em ruturas de arsenopirite

No que diz respeito ao indício de partículas de electrum associadas a galena complexarem sempre no contacto com arsenopirite poderá ser resultado de a galena não ter capacidade para exsolver as

partículas de Au e as partículas de electrum aproveitam a bordadura da arsenopirite para formar os compósitos de Au e Ag.

III. 3. 3. 5. Au 4 – electrum e/ou prata dourada em acolhimentos polifásicos dilatacionais

O reposicionamento paragenético das mineralizações portadoras de Au culmina nas ocorrências de electrum e prata dourada em microlocalizações dilatacionais decorrentes de deformação em regime transtensivo. As mineralizações apresentam nesta fase maior conteúdo em prata do que nas etapas anteriores. Na Figura 38 é apresentado o aspeto geral de microlocalizações dilatacionais que permitem o acolhimento de partículas de electrum e prata dourada.

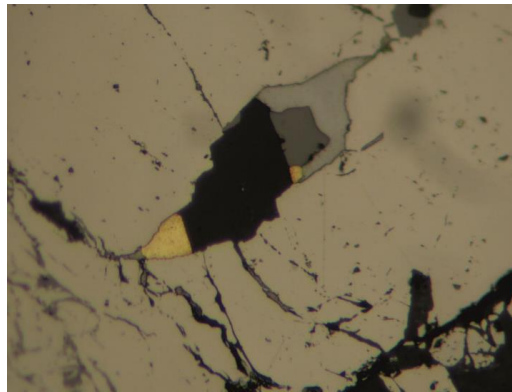


Figura 38: Microssítio dilatacional com acolhimento de Au.

Nesta etapa de deposição apesar de ser necessária a ocorrência de microlocalizações de carácter dilatacional os campos de tensões promovem sucessivas reativações das estruturas originando, por vezes, conjuntos de ruturas de direções muito distintas. Na Figura 39 procuram-se demonstrar indícios de cinemática de microdeslocamentos identificados em MOLR, o conjunto de indícios geométricos sugere cinemática maioritariamente esquerda, por vezes demonstrando evidências de ruturas segundo o modelo de *Riedel*. As partículas de electrum precipitam num nodo transtensivo desenvolvido a partir de rutura da arsenopirite com preenchimento de galena associado à partícula aurífera. Ilustra-se ainda a evolução de ruturas até permitir o acolhimento em nodos dilatacionais, demonstram-se diferentes estados promovidos por deformação progressiva desde a formação de ruturas até ao acolhimento em nodos dilatacionais.

Na Figura 40 apresenta-se outra situação em que se verifica a ocorrência de microlocalizações transtensivas em que ocorre a precipitação de Au em ruturas de arsenopirite. Neste caso verifica-se que

além do preenchimento de galena das ruturas da arsenopirite também ocorre calcopirite neste ambiente. Verificam-se transições de galena a calcopirite e de calcopirite a electrum. No entanto apesar da partícula de electrum estar no contacto com calcopirite, a sua precipitação estará relacionada com os preenchimentos tardios de galena que se observam.

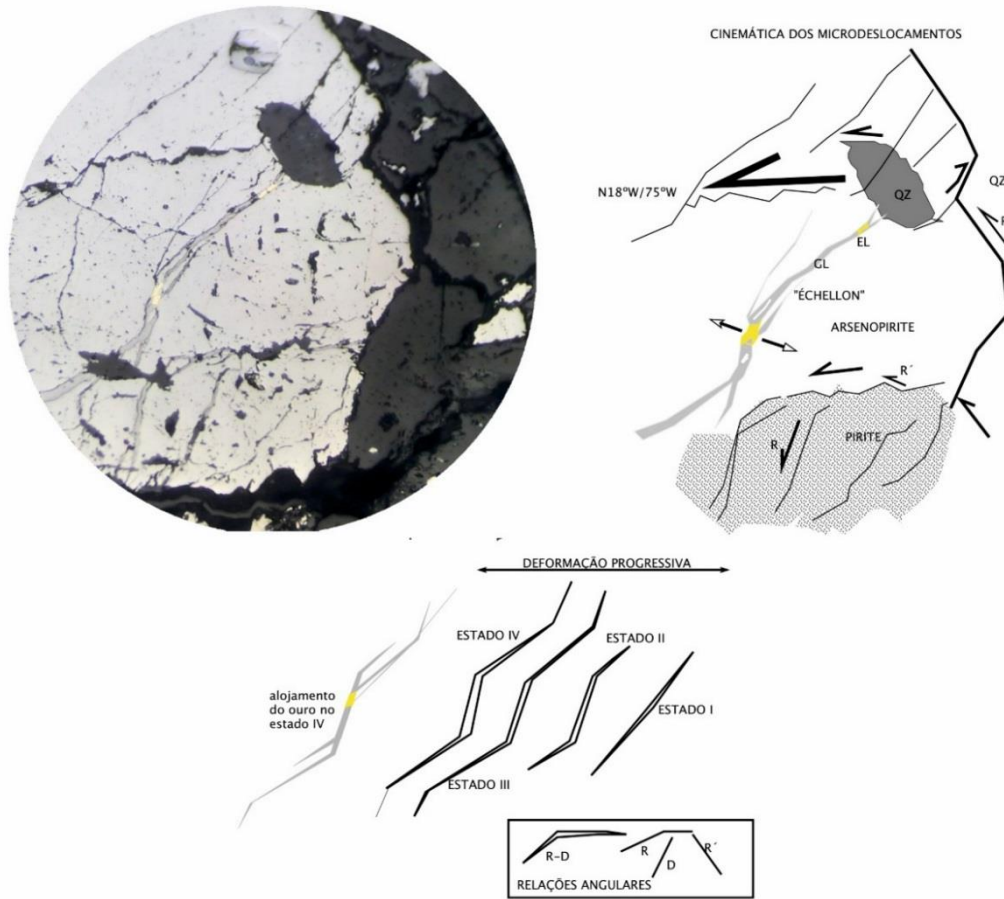


Figura 39: Acolhimento de electrum em microlocalização transtensiva em arsenopirite. Modelo de evolução de deformação progressiva de ruturas de arsenopirite.

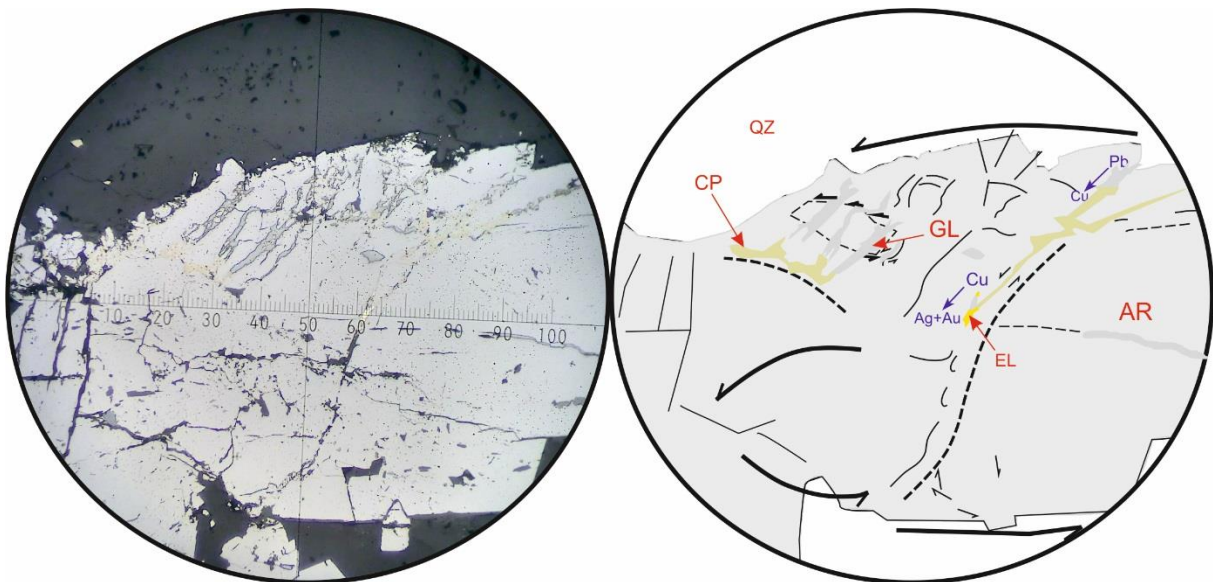


Figura 40: Microlocalização de electrum em rutura de arsenopirite em ganga quartzosa; Ruturas desenvolvidas em regime transcorrente a tangencial com desenvolvimentos de geometrias de Riedel na arsenopirite; Ruturas preenchidas por calcopirite e galena com precipitação de Au. Verificam-se transições de galena a calcopirite e de calcopirite a electrum (assinaladas a azul)

Em última análise procurou-se sistematizar as deposições de Au correspondentes aos últimos estádios de deposição, nomeadamente em ruturas de cristais de arsenopirite. Nesse contexto ilustra-se na Figura 41 a tipologia dos microssítios com alojamento de partículas de Au, procurando caracterizar o conjunto de geometrias dilatacionais internas em massas monocristalinas de arsenopirite originadas por deformação progressiva e a propagação da de deformação à arsenopirite em regime dúctil-frágil que se desenvolveram no decorrer de impulsos multifásicos. As geometrias de acolhimento de Au ilustradas correspondem a ambientes que variam de transpressivos a dilatacionais, e as microlocalizações correspondem a sectores em que a deformação promove a abertura de espaços que podem ser preenchidos por mineralização de Au.

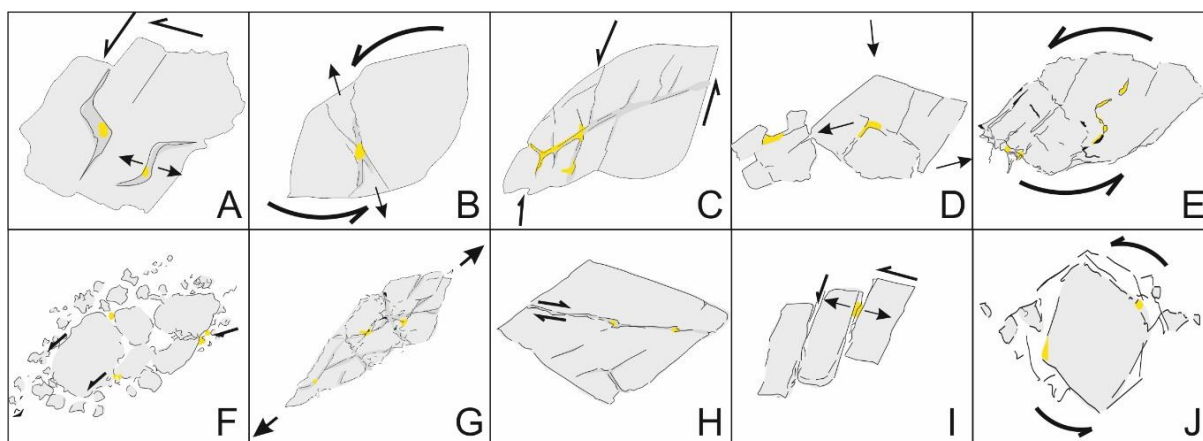


Figura 41: Síntese ilustrativa das geometrias de acolhimento de Au; A: Binário sinestrógiro em regime dúctil-frágil: transpressão a dilatação; B: “rebound” dilatacional após compressão; C: cisalhamento envolvente em zona de sombra; D: indentação; E: “en échelon” dúctil; F: catáclase periférica, rotacional, dúctil; G: estiramento (em “crack-seal”) propagação dilatacional; H: microlocalizações transpressivas após micro-transpressão; I: dominó inverso; J: deformação progressiva de coaxial a não-coaxial;

III. 3. 4. Fenómenos de diluição aurífera

Leal Gomes (1994) apresenta fenómenos de diluição aurífera demonstrando que as inclusões de Au na arsenopirite são mais ricas em Au do que as presentes nas ruturas associadas a galena. Neste trabalho procurou-se identificar fenómenos de diluição aurífera das partículas nos diferentes estádios discriminados previamente. Na Figura 42 apresenta-se um cristal de arsenopirite em ganga quartzosa, com ruturas preenchidas por galena. É possível verificar a ocorrência de diversas partículas de Au em diferentes ambientes de deposição. As partículas identificadas em 1 e 2 correspondem a partículas de electrum que precipitam no contacto entre quartzo e arsenopirite; a partícula de Au identificada em 3

corresponde a inclusão de Au resultante de processos de exsolução; as análises de electrum assinaladas em 4 e 5 correspondem a partículas que precipitam em ruturas de arsenopirite associadas a fases de galena; 6 e 7 correspondem a arsenopirite e galena, respetivamente.

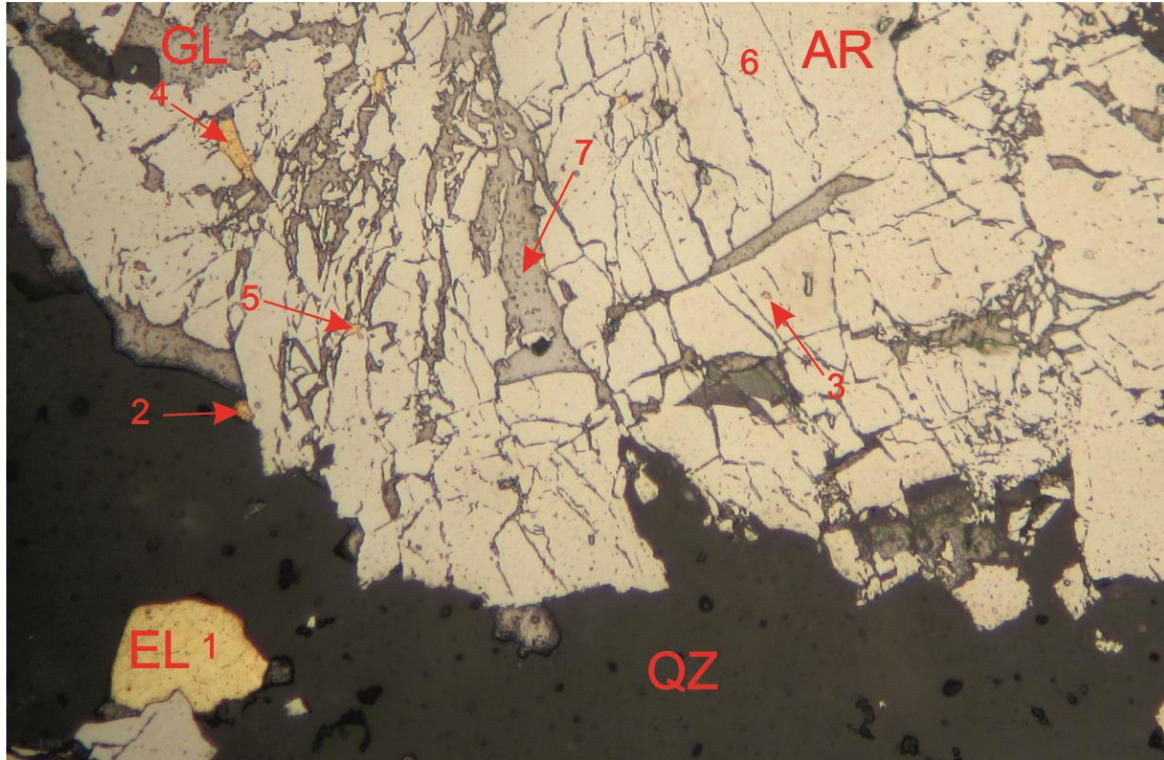


Figura 42: Arsenopirite em ganga quartzosa, com preenchimento de ruturas por galena e electrum. Localização das análises realizadas.

Os resultados obtidos nas análises realizadas nas fases minerais apresentadas na Figura 42, são sintetizados no Tabela 3. As análises 1 e 2 correspondentes a Au que precipita no contacto de arsenopirite e quartzo apresentam 72.77% e 70.39% de Au, respetivamente; A análise 3 que corresponde a uma partícula de Au incluída na arsenopirite resultante de processos de exsolução de Au reticular registou 86.37% de Au; As partículas associadas a deposição de galena nas ruturas apresentam os teores mais reduzidos entre as partículas de Au analisadas, com 65.35% na análise 4 e 55.45% na análise 5. A análise 6 que incidiu no cristal de arsenopirite não registou conteúdo em Au. Da análise 7 que foi efetuada em galena destaca-se a existência de Ag com valor aproximado de 0.8%.

Elemento	1	2	3	4	5	6	7
Fe	-	-	-	-	-	36.15	0.048
As	-	-	-	-	-	42.26	-
S	-	-	-	-	-	22.07	13.11
Sb	-	-	-	-	-	0.022	-
Pb	-	-	-	-	-	-	83.83
Au	72.77	70.39	86.37	65.35	55.45	-	-
Ag	28.23	29.05	13.15	35.46	43.83	-	0.7906
Bi	-	-	-	-	-	0.1442	1.85
Cu	-	-	-	-	-	0.0082	-
Total	100.9999	99.4401	99.5201	100.8099	99.2801	100.6544	99.6287

Tabela 3: Análises realizadas em partículas de Au identificada na Figura 42

Os dados obtidos corroboram os resultados apresentados em Leal Gomes (1994), demonstrando os fenómenos de diluição aurífera desde os estádios mais precoces. O facto de não se ter verificado Au na análise realizada na arsenopirite poderá ser devido ao reposicionamento do mesmo, este cristal apresenta inclusões de Au, além de partículas de electrum nas ruturas associadas a galena, o que constitui um indício de intenso reposicionamento o que poderá justificar a ausência de Au reticular na arsenopirite. A inclusão de Au que apresenta 86% é considerada Au nativo de acordo com Shikazono & Shimizu (1987). As partículas tardias associadas a galena corresponderão a remobilizações de Au de acordo com o modelo de Bonnemaïsson et Marcoux, constituindo partículas de electrum com cerca com Au entre 40% e 80%. A prata presente na galena poderá constituir uma das fontes principais de Ag que permite o enriquecimento em prata dos compósitos de Au/Ag, como demonstra a análise 7.

Por último de acordo com Shikazono & Shimizu (1987), o rácio de Ag/Au tende a diminuir com o incremento da temperatura, correspondendo as partículas com maior composição em Au a partículas formadas a maior temperatura. Os dados obtidos sugerem que os reposicionamentos paragenéticos ocorreram a distintos intervalos de temperatura, promovendo o enriquecimento em Ag nas fases tardias que precipitaram a temperaturas inferiores.

Capítulo IV

Considerações finais e conclusões

A análise geométrica regional colocou em evidência a existência de dois conjuntos de estruturas, cuja direção varia de acordo com a evolução dos campos de tensões Variscos, tardi a pós orogênicos. Os lineamentos mais precoces, possivelmente D3, apresentam direções variáveis de NW-SE a N-S, enquanto lineamentos tardios (tardi-D3 ou D3'), evidenciam direções aproximadas de E-W a NE-SW. As diferenças de orientação para as diferentes fases de deformação na envolvente de Arga, estabelecidas em Leal Gomes (1994), e retomadas neste trabalho, podem resultar da variação do campo de tensões estabelecido em Ribeiro (1974). De acordo com o autor, no decorrer da fase D3 até D4, ocorre a variação dos campos de tensões, passando de um regime essencialmente compressivo a transcorrente.

As ocorrências em que se verifica milonitização podem resultar de processos de confluência de estruturas, que promovem a truncagem, e conseqüente incremento da deformação nas rochas, que estão entre as estruturas. As ocorrências de Porto Vieiro e Picoto de Carvalho correspondem aos nodos selecionados em que são mais evidentes indícios de milonitização. Os pontos nodais selecionados revelaram-se coincidentes com diversas ocorrências já estudadas em Leal Gomes (1994), sendo particularmente interessante as ocorrências de Água Levada e Encruzilhada, na deposição de mineralização, pela complexidade paragenética verificada nestes locais.

O conjunto de resultados obtidos não permite realizar uma sistematização da tipologia de pontos nodais com base em critérios estruturais e paragenéticos na vertente oriental da Serra de Arga. A heterogeneidade da deformação associada a diversidade paragenética dos diferentes depósitos torna necessário a obtenção de mais dados a fim de obter uma caracterização que possibilite sugerir uma tipologia de pontos nodais.

A mineralização do cisalhamento Argas-Cerquido ocorreu em diversas fases, como já tinha sido apontado por Leal Gomes (1993). A paragénesis sugere a existência de sucessivas fases de deposição, com fases de mineralização correspondentes a um decréscimo de temperatura, de acordo com os modelos de mineralização apresentados em Pirajno (2009). A complexidade paragenética aqui observada, poderá ter como origem, sucessivas reativações da estrutura acompanhadas por preenchimentos com fluidos hidrotermais (Leal Gomes, 1994).

A mineralização do alinhamento E-W apresenta duas fases de mineralização relevantes na deposição hidrotermal. A primeira é caracterizada, essencialmente, por arsenopirite, a outra é tardia e a galena corresponde à mineralização mais abundante. A expressão de Au nesta estrutura revelou-se sob a forma de Au reticular em Encruzilhada, e sob a forma de pequenas partículas de Au nativo em Água Levada.

Do conjunto de resultados obtidos da análise de arsenopirite, foi possível obter dados relativos à sua gênese, ao seu *petrofabric*, à sua composição química e às condições de formação. A tipologia de arsenopirites sugerida no decorrer do trabalho permite a caracterização de arsenopirites com diferentes texturas, hábitos e associações. Destaca-se as ocorrências de tipo 6, 8 e 9, como as que estão mais frequentemente relacionadas com as mineralizações de Au.

A mineralização de Au é frequentemente associada a arsenopirite maciça, como revelaram as análises efetuadas em arsenopirites de tipo 6, em que se verifica a ocorrência de elevados teores de Au. A ocorrência de ouro em arsenopirite de tipo 8 foi documentada por Dias e Gomes (2011), em que registou um valor máximo de 338 ppm. O tipo 9 é o principal tipo associado à expressão mineralógica de Au. As mineralizações de ouro ocorrem normalmente associadas a galena, por vezes também a piritite ou blenda.

Da análise do *petrofabric* da arsenopirite, depreende-se a importância da deformação em regime dúctil-frágil como o principal agente que permite as ocorrências de ruturas que são, posteriormente, preenchidas por galena. Estas ruturas estão na origem do desenvolvimento de microlocalizações de carácter transtensivo, responsáveis pela mineralização das partículas mais tardias de Au. As composições químicas obtidas através de análise química pontual demonstraram que as arsenopirites com Au reticular se encontram entre 32% e 33% de Fe, o que corrobora o modelo de substituição proposto por Johan *et al.* (1989).

Da análise da temperatura de formação da arsenopirites, com base nos critérios de Kretschmar & Scott (1976), verifica-se que a maioria das arsenopirites se forma a temperaturas compreendidas entre 400°C e 440°C, e que o limite a que se detetou Au é de aproximadamente 450°C. Isto estará de acordo com a ocorrência de Au na arsenopirite da segunda fase de mineralização. As arsenopirites de maior temperatura podem estar relacionadas com a primeira fase de mineralização em que ocorre arsenopirite associada a volframite. As arsenopirites de temperatura mais reduzida podem ser contemporâneas da 3ª fase de mineralização, na qual a mineralização principal é de piritite, ocorrendo, acessoriamente, arsenopirite.

No que respeita às mineralizações auríferas, em Gomes (1995), é proposto, com base na tipologia de Bonnemaïson e Marcoux (1986), que a circulação hidrotermal pós-pegmatóide, na envolvente da Serra de Arga, aproveita as estruturas periféricas ao maciço como modo de dissipação de calor, promovendo o fluxo ascendente de fluidos ao longo da estrutura. Os fluidos serão responsáveis por precipitar na estrutura os elementos que mobilizam de litologias encaixantes, tendencialmente vulcanogénicas, condicionando a paragénese. Os resultados apresentados sustentam um conjunto de

estádios de deposição de Au, de acordo com o modelo do Bonnemaïsson & Marcoux (1990), verificando-se quase todos os episódios referidos pelos autores.

O estágio 1, ou precoce, proposto pelos autores, no qual os sulfuretos incorporam Au na estrutura cristalina, foi parcialmente verificado. O episódio 1, no qual a pirrotite acolhe o Au na estrutura cristalina, não foi analisado, apesar de se verificar, por vezes, relíquias de pirrotite em pirite e arsenopirite. A rentabilização dos recursos disponíveis não permitiu a obtenção de análises químicas de pirrotite. No entanto, o episódio 2, no qual ocorre a incorporação de Au na estrutura da arsenopirite, verificou-se frequentemente. A ocorrência de *invisible gold* ou Au reticular em arsenopirite, verificou-se nos dois cisalhamentos em que se analisaram arsenopirites. Apesar de existirem evidências de processos de *recovery* após *annealing* da arsenopirite induzido por deformação, como se verificou através dos zonamentos químicos apresentados na Figura 21, não foi possível verificar a correlação entre o contraste de fases produzidas por deformação e os conteúdos obtidos. Estes podem ser resultado do zonamento progressivo da arsenopirite, no qual os teores de Au ocorrem normalmente elevados, na periferia dos cristais.

Os fenómenos de exsudação de Au de arsenopirite apresentados são, possivelmente, correspondentes ao processo intermédio entre o estágio precoce e o estágio intermédio, definidos por Bonnemaïsson & Marcoux (1990). O estágio 2, ou intermédio, é composto pelos episódios 3 e 4. Porém, apenas o último é responsável pela expressão mineralógica direta de Au, através de inclusões de ouro em arsenopirite, normalmente com conteúdos de Ag inferiores a 15%. Através de MOLR, identificaram-se diversas partículas de Au inclusas em arsenopirite, com composição superior a 85%, como é demonstrado através da análise 3 da figura 28. O estágio 3, ou tardio, definido por Bonnemaïsson & Marcoux, (1990) é composto pelo episódio 5, em que as partículas de *electrum* são remobilizadas para ruturas, normalmente por fluidos de baixa temperatura, que precipitam maioritariamente galena.

As partículas apresentam, de acordo com os autores, maior conteúdo de prata do que os estádios anteriores, podendo atingir 80% do composto. O fenómeno de diluição aurífera, associado a preenchimentos de ruturas por galena, no qual ocorrem o teor de Au das partículas, diminui das partículas inclusas na arsenopirite para as partículas que ocorrem em ruturas. Isto está de acordo com os resultados obtidos por Gomes (1994), assim como o sugerido pelo modelo de Bonnemaïsson & Marcoux (1990). A evidência da ocorrência de prata na composição química da galena apresentada na análise 7 da Figura 29, associada às evidências de prata em galena obtidas em MEV podem justificar o facto das partículas de *electrum* associadas a galena apresentarem maior conteúdo em prata, ou seja,

quando o Au é exsudado da arsenopirite para as ruturas, a prata presente na galena poderá em regime subsolvus complexar com o Au promovendo enriquecimento em prata destas partículas.

A análise paragenética parece indiciar que o episódio 5 apresenta duas etapas essenciais: na primeira, a galena é remobilizada para as ruturas de arsenopirite; na segunda, que corresponde a episódios mais tardios, verifica-se a ocorrência de deposições em nodos dilatacionais desenvolvidos em microlocalizações de carácter transtensivo.

No modelo proposto em Leal Gomes (1995) é considerada a variação da ocorrência de Au em profundidade, com enriquecimento em Au relativamente ao conteúdo em Ag. Os dados paragenéticos refletem a evolução paragenética do sistema pós-pegmatóide da zona de cisalhamento Argas-Cerquido. As fases de mineralização corroboram o modelo de deposição revisto em Pirajno (2009), no qual as mineralizações de sistemas hidrotermais refletem o declínio da temperatura no decorrer da evolução das estruturas. A análise paragenética sugere, também, que ocorre diferenciação entre as mineralizações de cotas superiores, verificando-se que a paragénese é mais complexa a cotas inferiores da estrutura. Isto poderá ser reflexo de fenómenos de dissipação do calor residual do granito, que promovem a circulação de fluidos.

O enriquecimento de Au relativamente a Ag, evidenciado por Gomes (1995), poderá resultar da variação paragenética da estrutura. As evidências paragenéticas indicam que os teores de Au são mais superiores nas partículas que resultam de processos de exsolução, a partir da arsenopirite, do que nos episódios de reposicionamento tardios relacionados com galena. No entanto, não se verificaram inclusões de Au nas arsenopirites das estações a maior cota, o que poderá significar que o maior enriquecimento de Au, identificado por Gomes (1995), poderá possivelmente ser o resultado das variações de temperatura na estrutura.

IV. 1. Conclusões

No decorrer dos episódios de deformação D3 a D3' Variscos, definidos por Ribeiro (1979), e atribuídos por Dias (1987) e Gomes (1994) à envolvente da Serra de Arga, a deformação é focada em estruturas planares, cuja intersecção está na origem de um conjunto de pontos nodais, que podem funcionar como pontos de focagem ou diluição de fluidos. O conjunto de nodos atribuídos revelou-se concordante com estruturas previamente estudadas em Gomes (1994), tendo-se verificado deposição polifásica de fluidos hidrotermais, das quais se destaca a ocorrência de Água Levada, como o local em que a mineralização hidrotermal apresenta maior complexidade.

A instalação do maciço granítico da Serra de Arga poderá ter sido controlada por estruturas D2 que permitiram o extravasamento de apófises graníticas nestas estruturas como referido em Dias (2012), sugerindo que a forma diapírica atribuída ao maciço de Arga poderá decorrer de fenómenos de delaminação segundo estruturas D2, de acordo com o modelo apresentado na Figura 43.

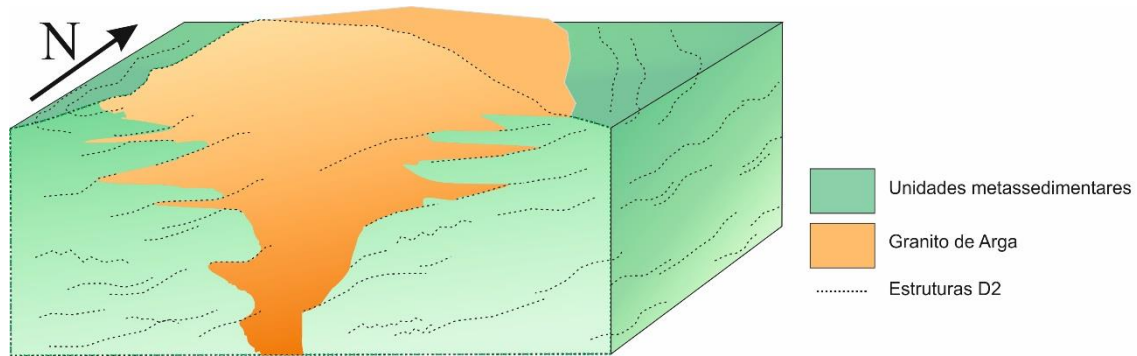


Figura 43: Modelo tridimensional da relação granito/ estruturas de transporte tangencial D2, de acordo com Dias (2011).

No que respeita à arsenopirite, esta revelou-se um bom marcador da deformação e da evolução das estruturas de cisalhamento na vertente Este da Serra de Arga. A deformação terá decorrido em regime progressivo, verificando-se evolução desde regimes de deformação dúctil a frágil. A deformação é concordante com as fases de mineralização que ocorrem nas estruturas.

Verificou-se que as primeiras fases de mineralização em que ocorre arsenopirite, terão precipitado a temperaturas de cerca de 490°C. No entanto, a incorporação de Au reticular em arsenopirite terá ocorrido durante a segunda etapa de mineralização, em que a arsenopirite é a mineralização mais importante, e que terá ocorrido a temperaturas entre 400°C e 450°C.

A análise paragenética da zona de cisalhamento Argas-Cerquido indicia o carácter polifásico da estrutura permitindo verificar as sucessivas fases de mineralização, que aproveitam processos de deformação impostos a minerais que precipitaram em fases precoces. A deposição de sulfuretos ocorre desde as fases mais precoces de alta temperatura, que são caracterizadas por volframite e arsenopirite, até aos episódios tardios de baixa temperatura, caracterizados essencialmente por galena (Leal Gomes, 1994).

O granito de Arga poderá constituir o principal agente no aumento da temperatura de fluidos hidrotermais, promovendo a circulação, de acordo com o modelo apresentado em Leal Gomes (1995). Este modelo infere que a circulação de fluidos deveria ser concordante com um regime de ascensão de fluidos ao longo da estrutura, promovendo fenómenos de diluição e deposição de fases tardias nos

setores mais superficiais da estrutura, enquanto nos setores em profundidades, o efeito de diluição terá sido reduzido, verificando-se a preservação da concentração.

No que respeita a mineralizações auríferas, verificou-se que os teores de Au variam ao longo da estrutura de cisalhamento, tal como tinha sido descrito em Gomes (1992). Os dados obtidos apontam para um enriquecimento no sector Sul da estrutura mestra, na região de confluência das estruturas. A análise paragenética sugere maior complexidade da mineralização a Sul e em profundidade, nomeadamente na região de Água Levada (a estação de menor cota no cisalhamento Argas-Cerquido), em que mineralizações auríferas apresentam maior diversidade de acolhimentos nesta estação.

Os resultados obtidos permitem interpretar a sequência de reposicionamentos paragenéticos de Au na vertente Este da Serra de Arga, de acordo com o modelo proposto por Bonnemaïson & Marcoux (1989), verificando-se as ocorrências de Au na estrutura, desde os estádios precoces, até às últimas fases de remobilização, correspondentes a estádios tardios.

As fontes primárias de Au na vertente Este da Serra de Arga correspondem a protólitos metavulcânicos, a partir dos quais ocorre a remobilização e focagem das mineralizações auríferas nas estruturas de cisalhamento da região.

O Au é remobilizado por fluidos hidrotermais focado na estrutura de cisalhamento e incorporado na estrutura cristalina da arsenopirite como Au reticular, sendo posteriormente exsolvido, originando inclusões de Au nativo em arsenopirite. As inclusões são afetadas por processos de exsudação permitindo a migração de Au para ruturas da arsenopirite, normalmente associado a galena. Em microlocalizações transtensivas ocorrem as últimas etapas de deposição, acolhendo partículas de Au, normalmente com maiores teores em prata e de maiores dimensões. O enriquecimento em prata poderá estar associado à composição da galena.

Capítulo V

lações

Com base nos resultados obtidos em Leal Gomes (1994) e no presente trabalho apresentam-se duas hipóteses de sondagens a realizar na área de estudo com potencial interesse académico e económico Figura 44. A estrutura alvo de sondagem seria a estrutura mesta do duplex descrito como Zona de Cisalhamento Argas-Cerquido, na região do Alto do Cavalinho. O estudo realizado, assim como em estudos anteriores (Leal Gomes e Gaspar, 1992) demonstra que as amostras de maior profundidade apresentam maior composição de Au. As partículas de Au surgem em diversas etapas de deposição desde os episódios mais precoces, até aos episódios em que ocorre a deposição de galena.

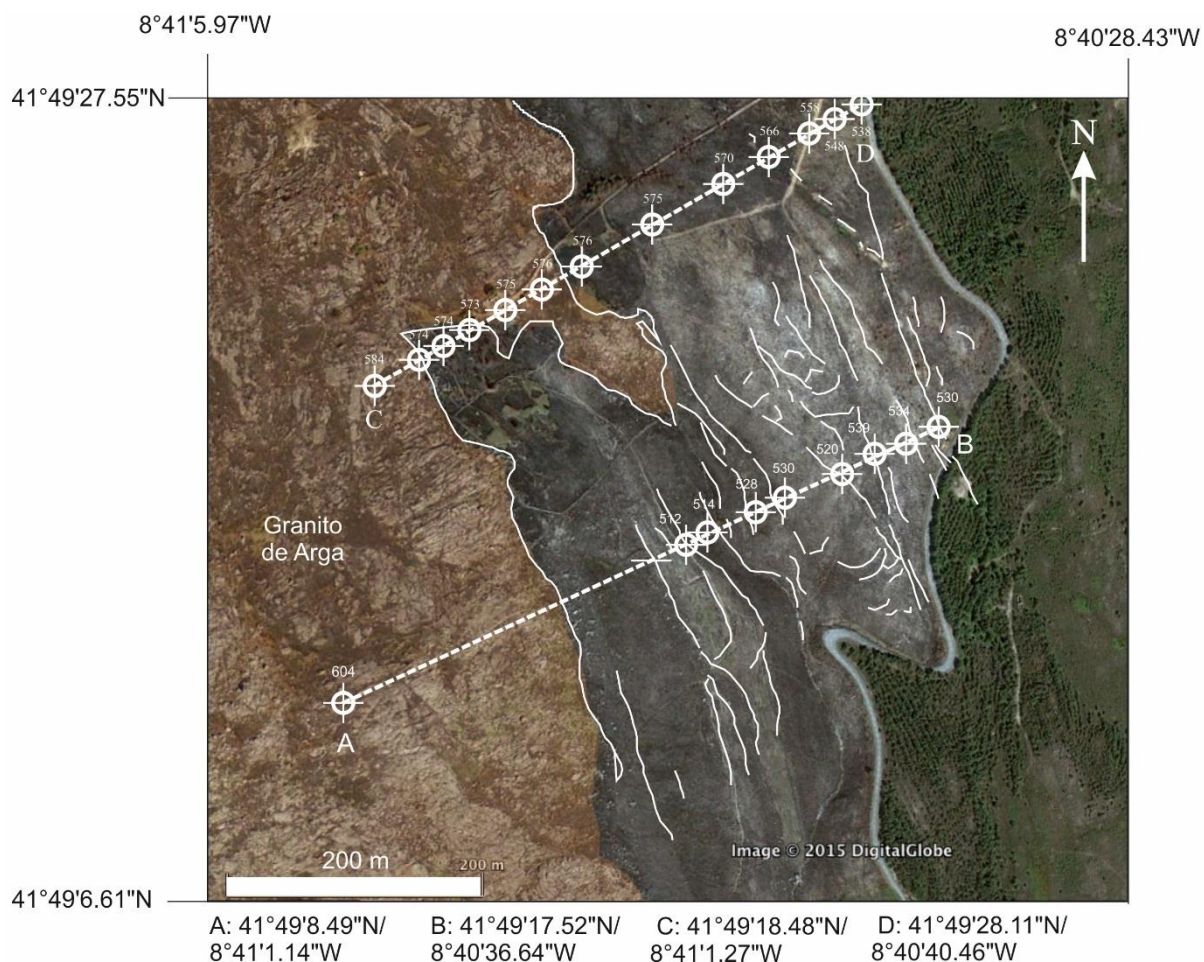


Figura 44: Localização das propostas de sondagem a realizar na região de Alto do Cavalinho; Pontos de entrada: Ponto A (604 metros) e Ponto C (584 metros)

A estrutura como se demonstrou através da análise de petrofabric transpõe diversos regimes de deformação, demonstrando o carácter evolutivo da zona de cisalhamento, as mineralizações auríferas estão associadas aos diversos episódios de deformação, a maiores temperaturas ocorre a exsolução de Au da arsenopirite, e a temperaturas mais reduzidas as partículas de Au surgem associadas a galena em ruturas e nodos dilatacionais. Os elementos recolhidos sugerem em profundidade maior teor de Au, maior conteúdo de Au nas mineralizações auríferas e maior complexidade paragenética.

expressam uma incorporação de Sn, Bi, Pb e Ag. Em unidades turmalínicas similares, é ainda descrita, a ocorrência de Au em arsenopirite (Dias, 2011).

A interpretação destes dados aponta para a existência de mineralizações hidrotermais precipitadas em microruturas. A proposta de sondagem ilustrada na Figura 46 intercepta a totalidade dos terrenos existentes entre a apófise granítica e a zona de cisalhamento mestra do duplex oriental de Arga. Salienta-se a possibilidade de interseção de um sistema ocluído pela lâmina granítica preservando a mineralização abaixo da apófise. Descreve-se ainda a probabilidade de intersecção da zona de cisalhamento mestra do duplex a maior profundidade onde a julgar pela análise de teores de Au obtidos no presente estudo e dos resultados apresentados em Leal Gomes, (1994) se verifica incremento da mineralização aurífera para níveis topográficos mais profundos, podendo vir a ser encontradas concentrações de Au mais elevadas.

Em termos de pesquisa de diversidade geométrica, cinemática e também paragenética das estruturas locais, a distância atravessada previsivelmente proporcionará o conhecimento da diversidade potencial/total destes terrenos, assim como permitirá compreender a estruturação destes terrenos com possibilidade de determinar localizações dilatacionais mineralizadas.

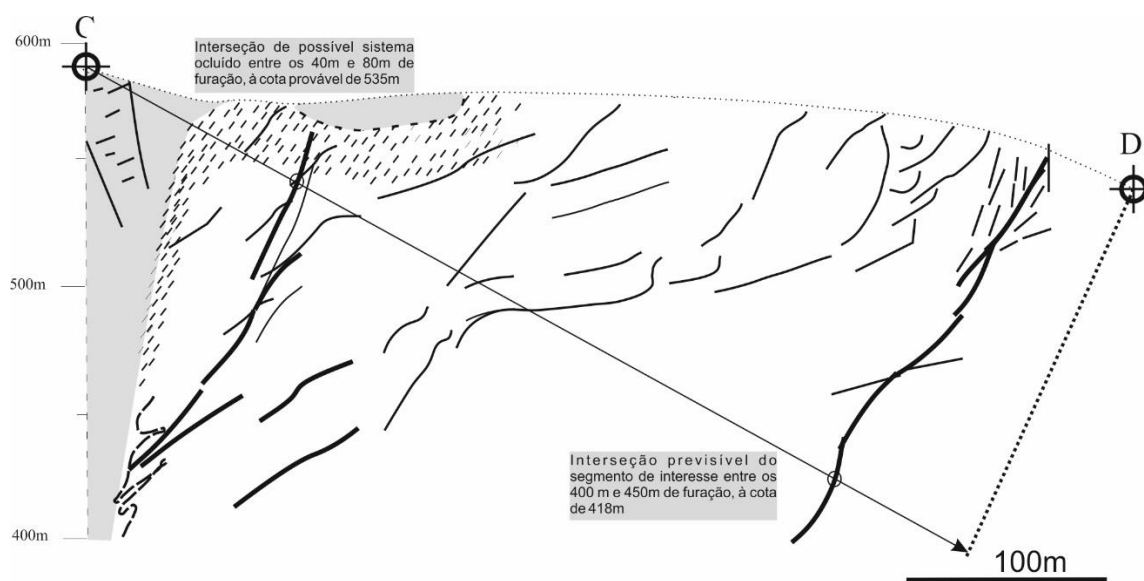


Figura 46: Perfil esquemático da sondagem C-D

Bibliografia

- Alves, R. (2014). *Contribuição para um sistema de gestão integrada de sítios mineiros do NW de Portugal*. Tese de Doutoramento - Universidade do Minho.
- Bonnemaison, M., & Marcoux, E. (1990). Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis. *Mineral. Deposita*, 96-104.
- Cabri, L. N., & Jiang, D. (2000). Chemical speciation of gold in arsenopyrite. *Canadian Mineralogist*, 38, 1265-1281.
- Davis, G., & Reynolds, S. (1996). *Structural Geology of Rocks and Regions*, (2nd ed.). Wiley.
- Dias, G. (1987). *Mineralogia e Petrologia dos granitos Hercínicos associados a mineralizações Filonianas de Sn-W (Minho Portugal)*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 304 p.
- Dias, P. (2011). *Análise estrutural e paragenética de produtos litológicos e mineralizações de segregação metamórfica. Estudo de veios hiperaluminosos e protólitos poligénicos Silúricos da região da Serra de Arga (Minho)*. Tese de doutoramento - Universidade do Minho, 615p.
- Dias, R. (2010). Evolução geodinâmica de Portugal no contexto do ciclo Varisco. *VIII Congresso Nacional de Geologia*.
- Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F., Marquinez, J., Parra, L., Martínez Catalán, J., . . . Fernandez, L. (1987). Aportaciones al conocimiento de la estratigrafía y estructura de Galicia Central. *An. Fac. Cien. Univ. Porto, Mem. 1*, 411-431.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., & Ribeiro, M. (1987). Granitos da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. *Geología de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hesperico*, 37-51.
- Hubert, P. (1986). *Textures et inclusions fluides des quartz aurifères. Application au gîte de Cros-Gallet (Haute-Vienne, France) et au prospect de Sanoukou (district de Kéniéba, Mali)*. Thesis. Doct. Univ. Orleans, 367 p.
- Johan, Z. M. (1989). Arsenopyrite aurifère: mode de substitution de Au dans la structure de FeAsS. *C. R. Acad. Sci.*, 185-191.
- Julivert, M., Fontboté, J., Ribeiro, A., & Conde, L. (1974). Memória Explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. *IGME, Madrid*, 113 p.
- Kretschmar, U., & Scott, S. D. (1976). Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canadian Mineralogist*, 364-386.

- Leal Gomes, C. &. (1993). Tipos de expressão aurífera no lineamento Argas-Cerquido – Sector proximal E do campo filoniano de Arga - Minho - Norte de Portugal. *IX Semana de Geoquímica e II Congresso de Geoquímica dos países de língua portuguesa, Porto*, 243-246.
- Leal Gomes, C. (1994). *Estudo estrutural e paragenético de um sistema pegmatóide granítico - O campo filoniano de Arga - Minho (Portugal)*. Tese de Doutoramento; Univ. Minho, Braga, 695 p.
- Leal Gomes, C. (1995). Actividade Tardi-Hercínica e Mineralizações no duplex peri-diapírico oriental da Serra de Arga- Minho- Portugal. *XIII RGOP/PICG 319-320 Septiembre '95 Comunicaciones, Salamanca*, 81-85.
- Leal Gomes, C. (2008). Minutas de revisão da folha 1C – Caminha da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000.
- Leal Gomes, C., & Gaspar, O. (1992). Mineralizações filonianas associadas a cisalhamentos pós-pegmatóides do campo aplito-pegmatítico de Arga-Minho. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 31-47.
- Leal Gomes, C., & Gaspar, O. C. (1995). Posicionamento paragenético e caracterização composicional de arsenopirite e blendas do campo filoniano de Arga - Minho - Norte de Portugal. *Museu e Laboratório mineralógico e geológico, memória n°4*, 635-639.
- Leal Gomes, C., Verduzco, G., & Dias, P. (2011). Vestígios de actividade fumaroliana litificados no nível com sulfuretos do jazigo da Cerdeirinha, Caminha, Norte de Portugal. *VIII Congresso Ibérico de Geoquímica - XVII Semana de Geoquímica*.
- Lotze, F. (1945). Zur Gliederung der Varisciden der Iberischen Meseta. *Geotektn Forsch*, 6, 78-92.
- Moello, Y., & Lévy, C. (1976). L'indice a sulfoantimoniures de plomb des Cougnasses (commune d'Orpierre, Hautes-Alpes) - Part II: Étude paragenétic. *Bull. Soc. Française de Mineral.et de Cristallog.*, 38-49.
- Passchier, C. W., & Trouw, R. A. (2005). *Microtectonics*. Springer Berlin Heidelberg New York.
- Pennacchioni, G., & Mancktelow, N. S. (2007). Nucleation and initial growth of a shear zone network within compositionally and structurally heterogeneous granitoids under amphibolite facies conditions. *Journal of Structural Geology* 29, 1757-1780.
- Pereira, E. ., (1989). *Folha 1, Minho. Carta Geológica de Portugal 1/200.000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Pinho, R., Gomes, A., Soares, L., & Chaminé, H. I. (2012). *Ensaio metodológico sobre a identificação de lineamentos geoestruturais a partir de imagens dos satélites landsat e spot: exemplo do sector entre a ria de Vigo (SW Galiza) e o rio Lima (NW Portugal)*. VII CGP.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer.

- Ribeiro, A. (2011). Evolução Geodinâmica de Portugal; os ciclos ante-mesozóicos.
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewski, G., . . . Monteiro, J. (1979). Introduction à la Géologie du Portugal. *Serv. Geol. de Portugal*, 114.
- Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *geol. Soc. Lond. vol. 133*, 191-213.
- Teixeira, C., & Assunção, C. (1961). *Carta Geológica de Portugal (1: 50 000). Notícia Explicativa da folha 1-C (Caminha)*. Serv. Geol. de Portugal.
- Teixeira, C., Medeiros, A. C., & Coelho, A. (1972). Carta Geológica de Portugal. Notícia explicativa da folha 5-A (Viana do Castelo). *Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa*, 43.
- Touray, J. (1987). Transport et dépôt de For dans les fluides de la croûte continentale. *Chron. rech. min.*, 43-53.
- Touray, J. M. (1989). Hydrothermal processes and ore-forming fluids in the Le Bourneix gold-deposit, Central France. *Econ. Geol.*, 1328-1339.
- Van der Pluijm, B., & Marshak, S. (2004). *Earth Structure: An introduction to structural geology and tectonics (2nd edition)*. New York: W. W. Norton & Company Ltd.,.

Anexos

Anexo I

